

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA OBJÍMKY **MANUFACTURING OF PIPE STRAPS**

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTERS'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. SVATOSLAV SUCHOMEL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph. D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Svatoslav Suchomel

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba objímky

v anglickém jazyce:

Manufacturing of pipe straps

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby objímky pro spojení vodovodních trubek. Součástka je z ocelového plechu s otvorem a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání v postupovém nástroji. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii stříhání a ohýbání spolu se zhodnocením výroby součástí obdobných tvarů. Následovat bude návrh vhodné technologie a vypracování postupu výroby součásti (provedení technologických a kontrolních výpočtů), návrh sestavy nástroje spolu s výrobními výkresy zadaných dílů, technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. HOSFORD, William F.; CADDEL, Robert M. Metal Forming : Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York : Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
2. FOREJT, M. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Brno, Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0294-6.
3. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K.: Technologie tváření – plošné a objemové tváření, 1.ed., edit.Rektorát VUT v Brně, 2003, pp.169, ISBN 80-214-2340-4
4. ROMANOVSKIJ, V.P. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha, SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
5. NOVOTNÝ, K. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0401-9.
6. NOVOTNÝ, J. – LANGER,Z.: Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů; Redakce báňské a strojírenské literatury; 1. vyd. L 13–B3-IV- 41/22674; SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p.; 1980; 216 str.
7. MARCINIAK, Z.; DUNCAN, J.L.; HU, S.J. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce obsahuje návrh technologie výroby objímky z plechu 11 373.1 o tloušťce 1,5 mm v požadovaném počtu 360000 ks ročně. Z možných variant výroby je zvolena výroba stříháním a ohýbáním v postupovém sdruženém nástroji. Na základě literární studie a provedených výpočtů je navržen nástroj a zvolen výstředníkový lis LEN 40 C. Z ekonomického zhodnocení vyplývá cena součásti 2,40 Kč. Práce obsahuje výkresovou dokumentaci vybraných dílů nástroje a jeho sestavu.

Klíčová slova: stříhání, ohýbání, plošné tváření, sdružený nástroj

ABSTRACT

The diploma work contains a solution of the production technology of a sleeve made of metal sheet 11 373.1, the thickness of which is 1,5mm, in the required amount of 36,000pcs a year. Out of all possible options, the production of cutting and bending in a sequential combination tool was chosen. Based on the literary study and performed calculations the tool is designed and chosen eccentric press LEN 40 C. The price of 2,40 CZK for a piece is derived from the economic evaluation. The work contains drawing documentation of chosen parts of the tool and its assembly.

Key words: cutting, bending, surface forming, combination tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SUCHOMEL, Svatoslav. *Výroba objímky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Odbor technologie tváření kovů a plastů, 2011. 68 s, 3 přílohy, 4 výkresy, CD. Vedoucí diplomové práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma výroba objímky vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 15. 5. 2011

.....
Svatoslav Suchomel

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce a akciové společnosti ANTREG za neomezený přístup k informacím z technického archívu.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Prohlášení

Poděkování

Obsah

1	ÚVOD	11
2	ZHODNOCENÍ SOUČÁSTI	12
2.1	Možnosti výroby	13
3	LITERÁRNÍ STUDIE	14
3.1	Stříhání	14
3.1.1	Střížná vůle	16
3.1.2	Síla a práce při stříhání	17
3.1.3	Kontrola střížníku na otlačení a vzpěr	18
3.1.4	Výpočet výšky střížnice	19
3.1.5	Technologičnost výstřižků	20
3.2	Ohýbání	26
3.2.1	Poloha neutrální osy	27
3.2.2	Odpružení	28
3.2.3	Ohýbací síla a práce	31
3.2.4	Technologičnost ohýbaných součástí	33
3.3	Těžiště sil	36
3.4	Nástroje pro stříhání a ohýbání	38
3.4.1	Konstrukční řešení střížných částí nástrojů	39
3.4.2	Konstrukční řešení ohýbacích částí nástrojů	41
3.5	Materiály pro lisovací nástroje	45
3.6	Stroje	47
4	NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI	49
4.1	Rozvinutý tvar	49
4.2	Uspořádání výlisků v nástřihovém plánu	51
4.3	Návrh výrobního postupu	52
4.3.1	Rozměry nástřihového plánu	53
4.3.2	Volba polotovaru	53
4.4	Technologické a kontrolní výpočty střížné části nástroje	55
4.5	Technologické a kontrolní výpočty ohýbací části nástroje	57
4.6	Poloha stopky	60
4.7	Volba stroje	61
4.8	Popis nástroje	62
5	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	63
6	ZÁVĚR	68

Seznam zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

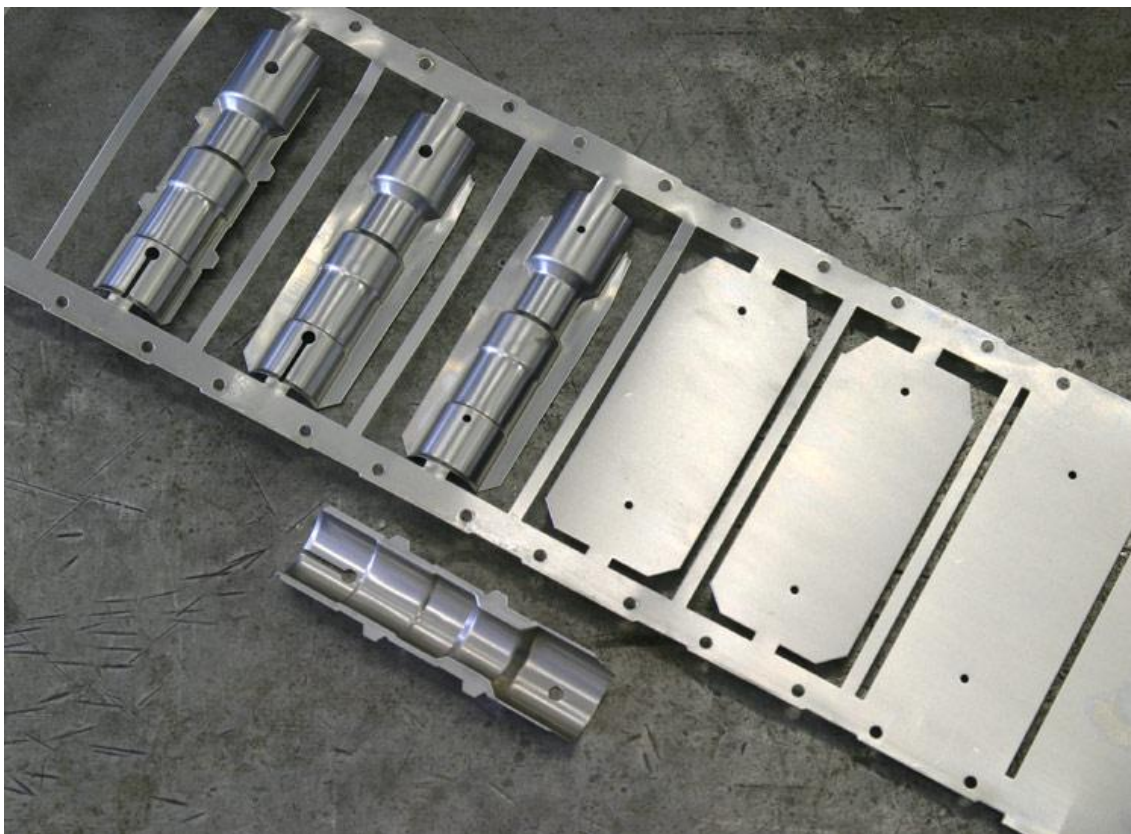
Seznam výkresů

1 ÚVOD

Neustálé snižování výrobních nákladů a pracnosti ve výrobě strojních součástí vyzývá k hledání a uplatnění nových technologických možností při přeměně polotovaru na hotový výrobek. V případě součásti zhotovené z plechu je dosaženo tvaru převážně zpracováním plošným tvářením.

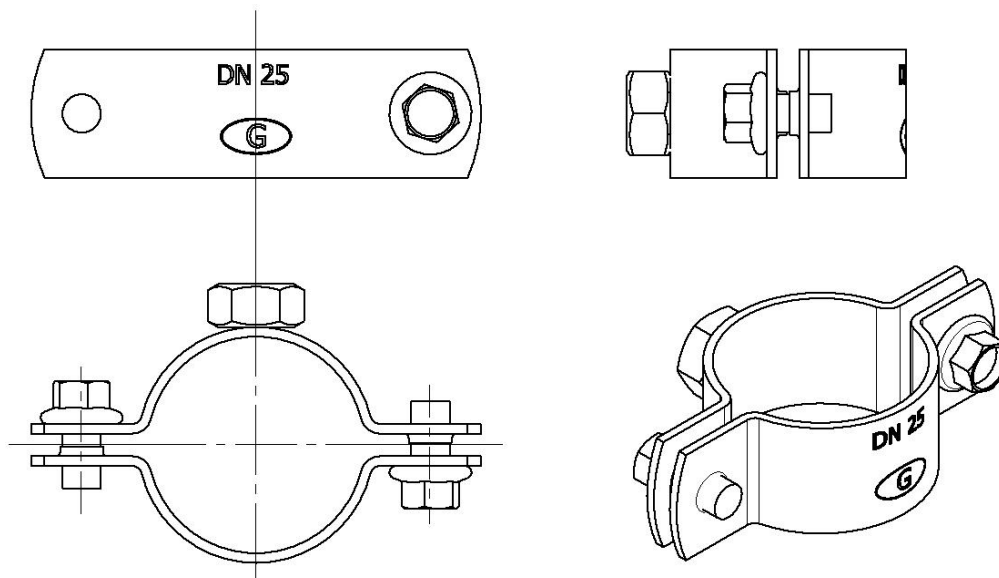
Při plošném tvářením dochází ke zpracování plechu bez výrazného ztenčení jeho tloušťky po dokončení výrobních operací. Do oboru plošného tváření patří technologie stříhání a ohýbání, převážně za pomoci tvářecích nástrojů, kterým se tato práce nejvíce věnuje. Samotné technologie jsou známé dlouhou dobu, avšak s rozšířením moderních, zejména počítačem řízených obráběcích strojů, mohou být bez větších potíží vyrobené tvářecí nástroje s vysokou přesností, což dává předpoklady nejen pro zhotovení funkčních součástí požadovaných rozměrů, ale také vysokých pohledových kvalit, zvláště v dnešní době, kdy je kladen velký důraz na design všech výrobků.

Snahou je v této práci prezentovat a aplikovat současný stav s nejnovějšími teoretickými a praktickými poznatky v oblasti plošného tváření při návrhu výroby součástí objímky. Jeden ze způsobů jak zjistit výhodnost výroby součásti a prokázání zisku vyplývá z technicko-ekonomického zhodnocení.



Obr. 1 Průběh výroby součásti sdruženým nástrojem

2 ZHODNOCENÍ SOUČÁSTI [7] [8] [11]



Obr. 2 Sestava vyráběné součásti

Požadovaná součást se nazývá objímka a slouží ke spojení vodovodních trubek. Skládá se ze dvou rozměrově stejných polovin, každá se střední částí tvarovanou do oblouku s upevňovacími plochami po stranách, které jsou opatřeny otvory pro vzájemné spojení pomocí šroubů do jednoho montážního celku. Jedna z polovin má ve střední části umístěno značení určující jmenovitou hodnotou světlosti trubky a logo výrobce.

Pro zhotovení funkčního výrobku s požadovanými vlastnostmi je důležitý výběr vhodného materiálu. Vzhledem k možnostem dalšího zpracování svařováním bude součást zhotovena z plechu vyrobeného válcováním za tepla z nelegované oceli obvyklých jakostí 11 373.1 se zaručenou svařitelností, používaný pro součásti konstrukcí a strojů menších tlouštěk namáhané staticky i dynamicky. První doplňková číslice za označením oceli udává stav oceli daný tepelným zpracováním. V tomto případě se jedná o ocel normalizačně žíhanou. Chemické složení a vlastnosti oceli jsou uvedeny v tab. 2.1.

Součást bude vyrobena dle požadavků na rozměrovou a geometrickou přesnost dle normy ISO ČSN 2768-mK. Požadovaná roční výrobní dávka činí 360000 kusů součástí pro montáž 180000 kusů objímek. Pro zvýšení odolnosti součásti proti korozi bude její povrch chráněn vrstvou galvanicky naneseného zinku. Sestava součásti je zobrazena na obr. 2.

Tab. 2.1 Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli 11 373.1 [11]

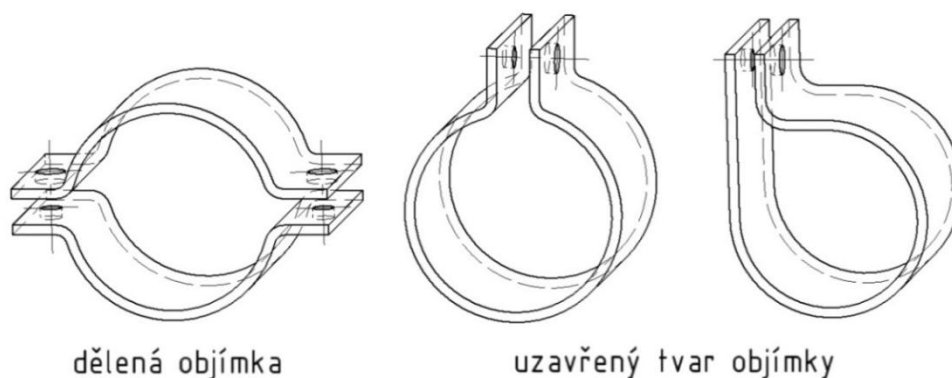
Chemické složení [hm. %]			
C	P	S	N
max. 0,17	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,007
Mechanické vlastnosti pro tenké plechy válcované za tepla s=1,5 až 2 mm			
R_e [MPa]	R_m [MPa]	A_{80} [%]	
235	360 – 510	17	

2.1 Možnosti výroby [3] [8]

Existuje několik způsobů jak součásti obdobného tvaru vyrobit. Úkolem při výběru vhodné technologie ke zpracování polotovaru materiálu na hotový výrobek je zhodnotit jeho užité vlastnosti, a zvolit takový způsob výroby, aby byla součást zhotovena s nejmenšími nároky na pracnost v nejkratším časovém termínu, avšak bez negativního vlivu na požadovanou kvalitu výrobku.

Výrobu objímky a tvarově podobných součástí je možné rozdělit na:

- součásti s tvarem písmene U,
- součásti s uzavřeným tvarem písmene O [8].



Obr. 3 Typy objímek

Objímka může být vyrobena těmito způsoby:

- řezáním pomocí laseru a následným ohýbáním v nástroji. Technologie je však ekonomicky nákladná a vyřezané polotovary se musí před založením do ohýbacího nástroje zbavit nečistot, které po řezání na součásti ulpí. Nevýhodné je také tepelné ovlivnění okraje řezu. Závit pro šroub by se obtížně řezal, a otvor by bylo vhodnější vrtat. Tím pracnost a náklady tak ještě více vzrostou. Tato možnost se jeví výhodná pouze pro výrobu vzorků ke zjištění funkčních vlastností výrobku nebo pro jeho prezentaci,
- jiný způsob se nabízí výrobou výstřižku ve stříhadle a následném ohýbání v nástroji. Tato technologie již dává předpoklady pro sériovou výrobu, kdy bude vystřižená součást založena do ohýbacího nástroje a ohnuta do požadovaného tvaru,
- pro zvýšení efektivnosti výroby může být součást vyrobena pomocí postupového sdruženého nástroje zakládáného do lisovacího stroje, kdy se pás plechu zavede do nástroje a v dílčích krocích zpracovává do požadovaného tvaru. Po průchodu pásu plechu nástrojem je součást zachycena do vhodné nádoby a dle potřeby mohou následovat operace jiného charakteru, jako např. omílání, závitování nebo povrchová úprava. Odpadá tak manipulace s polotovarů pro samostatné ohýbání a zdlouhavé zakládání do ohýbacího nástroje jako při výrobě polotovaru laserem nebo samostatným stříháním.

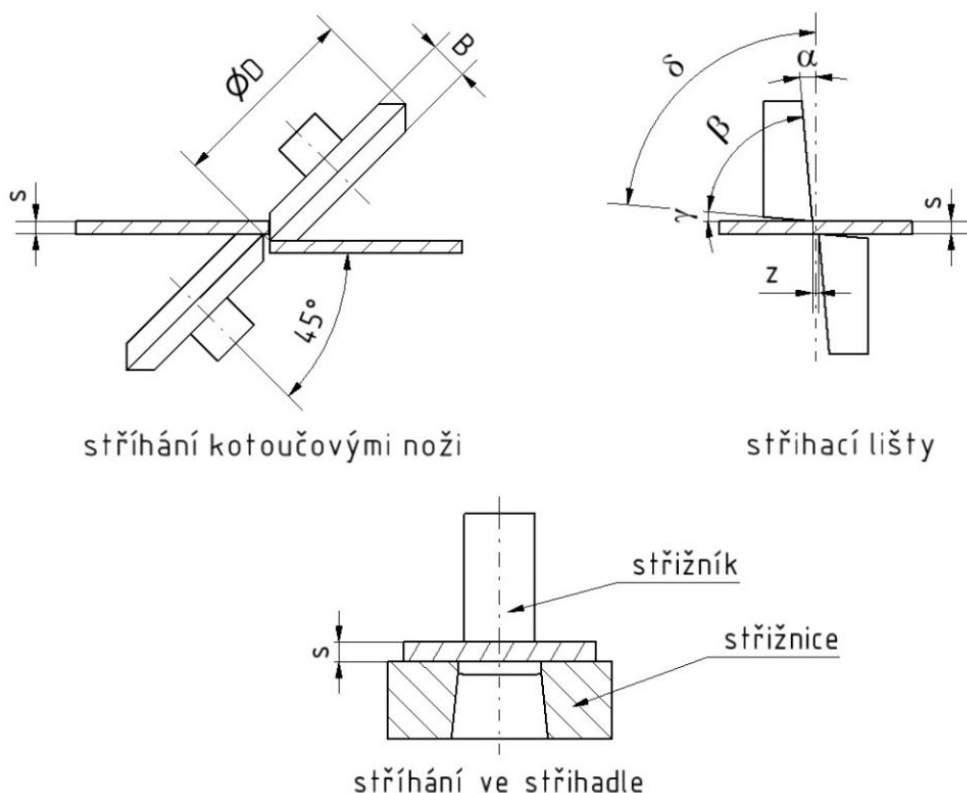
Srovnáním výhod a nevýhod možností výroby s ohledem na požadovanou výrobní dávku 360000 kusů ročně se jeví jako nejvhodnější způsob výroby zpracováním pásu ocelového plechu v postupovém sdruženém nástroji technologií stříháním a ohýbáním.

3 LITERÁRNÍ STUDIE

Literární studie uvádí souhrn poznatků z odborné literatury zabývající se tématem plošného tváření, zejména však technologií stříhání a ohýbání plechů. Součástí literární studie jsou také poznatky zjištěné v provozu lisoven a z jejich technických archívů.

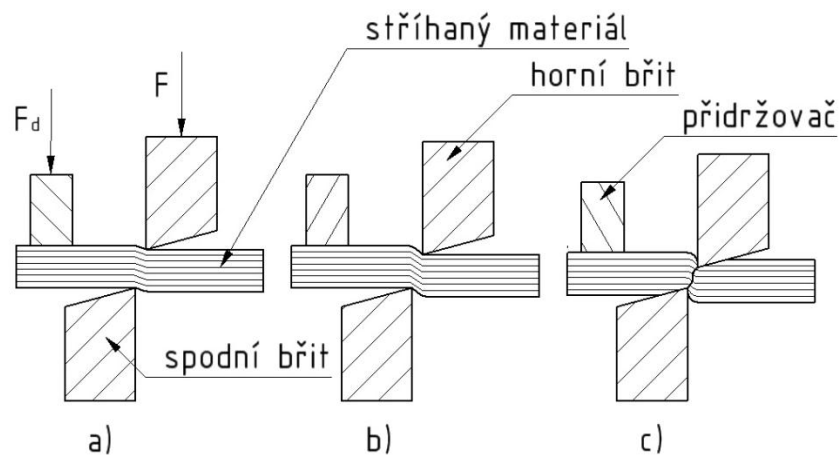
3.1 Stříhání [2] [9] [17]

Stříháním se rozumí dělení materiálu beztržkovou metodou, jejímž výsledkem je porušení soudržnosti v místě překročení meze pevnosti stříhaného materiálu. Nejčastěji se tato technologie používá k výrobě součástí z plechů v odvětví plošného tváření, kde je již u menší sériovosti jen obtížně nahraditelná a u velkých výrobních sérií vůbec. To je dáno jednoduchostí, malými nároky na obsluhu, rychlostí pracovního úkonu stříhání a z toho plynoucí ekonomickou nedostižností. Pro dělení tabulí plechu se nejčastěji používá jednotných nebo dělených břitů upevněných v tabulových nůžkách. Jiný způsob je kontinuální dělení kotoučovými noži používané např. pro výrobu svitků a dlouhých pásů plechu. V případě potřeby výrobku se složitými tvary, nebo když je střížná kontura obecnou křivkou, bude nejspíše uplatněno stříhání ve střížném nástroji za použití lisu. V takovém případě se utváří střížná plocha působením střížníku a střížnice, jak znázorňuje obr. 4. Součást vzniklá tímto způsobem se nazývá výstřížek. Nástroj může být doplněn i jinými technologiemi jako např. ohýbání nebo tažení. V takovém případě se jedná o sdružený lisovací nástroj.



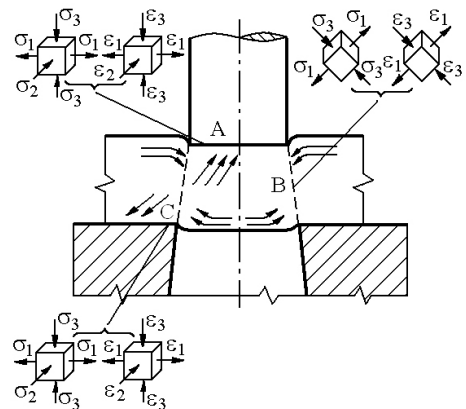
Obr. 4 Způsoby dělení stříháním [2] [17]

Průběh stříhání se dělí na tři základní fáze, které jsou patrné z obr. 5. V první fázi nastává pružná deformace děleného materiálu. Po dosednutí břitu na dělený materiál vzniká vlivem působení sil a relativním pohybem břitu směrem do materiálu smykové napětí. Hloubka pružného vniknutí závisí na vlastnostech materiálu. Její hodnoty jsou v rozmezí $h_{el} = (5 \text{ až } 8\%) \cdot s$. Dvojice sil, která působí mezi břity při vtačování do materiálu je příčinou vzniku ohybového momentu. Ten musí být kompenzován vhodnou podporou po dobu průběhu stříhání. Ve druhé fázi dochází k překročení meze kluzu ve stříhu a vzniká trvalá plastická deformace. Hloubka plastického vniknutí je ovlivněna mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu a u kovů se pohybuje v hodnotách $h_{pl} = (10 \text{ až } 25\%) \cdot s$. V poslední fázi je dosaženo meze pevnosti, vzniká nástřih provázen tvorbu trhlin, které se rychle šíří až do oddělení stříhaného materiálu. Ten se dělí postupně nebo současně v závislosti na geometrii břitů.



Obr. 5 Fáze střížného procesu: a) 1. fáze - pružná deformace, b) 2. fáze - plastická deformace, c) 3. fáze - stříh [2]

Při uzavřeném stříhání vzniká pod plochou střížníku v bodě A (obr. 6) nestejnorodá prostorová napjatost s odpovídající deformací. Napětí mají jednu složku tahovou (σ_1) a dvě tlakové (σ_2, σ_3). V oblasti stříhu dosahuje tahové napětí hodnot pevnosti materiálu ve stříhu $\sigma_1 = \tau_s$, kdy hlavní tlakové napětí σ_3 dosahuje poloviny σ_1 . V případě stříhání tlustých plechů je možné uvažovat rovinný stav napjatosti, avšak vlivem nenulového deviátoru napětí bude v bodě A prostorový stav deformace. Stejný průběh napjatosti a deformace se uplatní v bodě C. Směrem do středu střížné plochy se vlivem změny křivosti napětí σ_1 a σ_3 mění a v době B dochází k prostému smyku, kdy $\sigma_1 = |-\sigma_3|$, napětí $\sigma_2 = 0$. Tomu odpovídá nestejnorodá rovinná napjatost i stav deformace. Ze schémat napjatosti uvedených na obr. 6 vyplývá, že vlivem působení střížníku ve směru stříhu vznikají napětí tlaková a v kolmém směru tahová.



Obr. 6 Schéma napjatosti a deformace při uzavřeném stříhání [9]

3.1.1 Střížná vůle [1] [2] [3] [17]

Střížná vůle má zásadní vliv na tvorbu střížné plochy a ovlivňuje životnost funkčních částí stříhadel. Je charakterizována rozdílem rozměru střížníku a otvoru ve střížnici. Pro některé aplikace se využívá pouze jednostranného stříhání. V takovém případě musí být určena střížná mezera, která je polovinou střížné vůle (3.1). Střížná mezera musí být stejná a rovnoměrná po celém tvaru stříhu.

Velikost střížné vůle je možné určit výpočtem pomocí vzorce 3.2, nebo ji odvodit jako procentuální část tloušťky stříhaného materiálu z tab. 3.1. Ovlivněna je zejména jeho mechanickými vlastnostmi a tloušťkou. Zmenšování střížné vůle má za následek mírné zvýšení střížné síly, avšak práce může narůst až o 40%. Různí autoři ([1], [2], [3]) uvádějí velikost střížné vůle od 2% do 20% tloušťky materiálu právě v závislosti na tloušťce a druhu stříhaného materiálu. S klesající pevností a vzrůstající tloušťkou se volí menší procentuální hodnota. V průběhu životnosti nástroje se střížná vůle zvětšují vlivem opotřebení a tak je výhodné konstruovat nástroje s minimální střížnou vůlí s ohledem na požadovanou jakost střížné plochy.

- Určení střížné vůle výpočtem pro plechy o tloušťce do 3 mm [1]

$$v = 2 \cdot z \quad [\text{mm}] \quad (3.1)$$

$$z = 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (3.2)$$

v – střížná vůle [mm]

z – střížná mezera [mm]

$c \cong (0,005 \text{ až } 0,025)$ – koeficient druhu stříhání [-]

s – tloušťka plechu [mm]

τ_s – střížný odpor [MPa]

- Určení střížné vůle výpočtem pro plechy o tloušťce nad 3 mm [1]

$$v = 2 \cdot z \quad [\text{mm}]$$

$$z = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot s - 0,15) \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (3.3)$$

Tab. 3.1 Velikost střížné vůle [1]

	Druh materiálu	Střížná vůle [%]	
		$s < 2,5$	$s > 2,5$
	Ocel měkká	5	7 až 8
	Ocel středně tvrdá	6	6 až 8
	Ocel tvrdá	6 až 9	7 až 10
	Hliník	4 až 7	5 až 9
	Měď měkká	4 až 5	5 až 6
	Měď polotvrdá a tvrdá	6 až 7	6 až 7
	Mosaz měkká	4 až 5	4 až 6
	Mosaz tvrdá	5 až 6	5 až 7

3.1.2 Síla a práce při stříhání [1] [2] [3] [9] [17]

Střížná síla

Pro realizaci stříhu musí být překonána mez pevnosti ve stříhu τ_s . Ta je ve většině literárních podkladech ([1] [2] [3] [9]) definována jako

$$\tau_s = (0,4 \text{ až } 0,8) \cdot R_m \quad [\text{MPa}] \quad (3.4)$$

R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

Doplněním vztahu střížného odporu o geometrii stříhu vznikne vztah 3.5 pro výpočet střížné síly F_s . Průběh síly v závislosti na hloubce vniknutí střížníku je znázorněn na obr. 7.

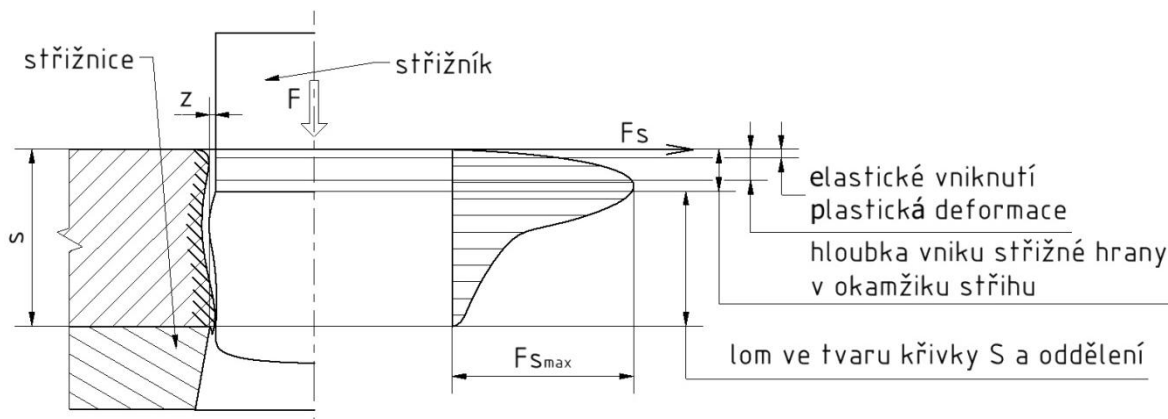
– Výpočtový vztah pro určení střížné síly [3]

$$F_s = n \cdot l_k \cdot s \cdot \tau_s \quad [\text{N}] \quad (3.5)$$

F_s – střížná síla [N]

$n = 1 \text{ až } 1,3$ – koeficient vnějších vlivů při stříhání [-]

l_k – délka křivky stříhu [mm]



Obr. 7 Charakteristický průběh střížného procesu a síly [9]

Síla na setření materiálu ze střížníku

Vlivem pružné deformace ulpí děrovaný materiál na střížníku a k jeho setření musí být vyvozena určitá síla F_u [3].

$$F_u = k_{eu} \cdot F_s \quad [\text{N}] \quad (3.6)$$

F_u – stírající síla [N]

k_{eu} – koeficient druhu stříhání a materiálu. Hodnoty koeficientu k_{eu} jsou uvedeny v příloze 2 Tab. 1 [-]

Síla na vysunutí výstřížku ze střížnice

Velikost síly pro vytlačení výstřížku ze střížnice F_v je závislá na tvaru a rozměru křivky stříhu, druhu materiálu, velikosti střížné vůle a použitém druhu mazání.

- Výpočtový vztah pro určení síly k vytlačení výstřížku ze střížnice [3]

$$F_v = k_{ev} \cdot F_s \cdot n_p \quad [\text{N}] \quad (3.7)$$

F_v – síla pro vytlačení výstřížku [N]

k_{ev} – koeficient druhu stříhání a materiálu. Hodnoty koeficientu

F_v jsou uvedeny v příloze 2 Tab.1 [-]

n_p – počet výstřížků v neodlehčené části střížnice [ks]

Střížná práce

Množství spotřeby práce A závisí na velikosti střížné síly a hloubce vniku střížné hrany do materiálu. Je to práce spotřebovaná při realizaci stříhu.

- Výpočtový vztah pro určení střížné práce [3]

$$A = \frac{F_s \cdot K_1 \cdot s}{1000} \quad [\text{J}] \quad (3.8)$$

A = práce [J]

$K_1 = 0,4$ až $0,7$ – koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu.

Hodnoty koeficientu K_1 se uvádí v příloze 2 Tab. 2 [MPa]

3.1.3 Kontrola střížníku na otláčení a vzpěr [1] [17]

Pokud překročí namáhání σ na dosedací ploše střížníku hodnotu $\sigma_{dov} = 180$ MPa u ocelí a 90 MPa u litin, musí být střížník podepřen kalenou opěrnou vložkou, aby nedocházelo k jeho vtlačování do upínací desky nástroje. Tloušťka vložky se volí obvykle 4 mm.

- Kontrolní vztah pro určení napětí vychází z podílu střížné síly a styčné plochy střížníku [17]

$$\sigma = \frac{F_s}{S} \leq \sigma_{dov} \quad [\text{MPa}] \quad (3.9)$$

σ – napětí na styčné ploše střížníku [MPa]

S – styčná plocha střížníku [mm²]

σ_{dov} – dovolené napětí na styčné ploše střížníku. Pokud je $\sigma \geq \sigma_{dov}$, musí se použít kalená opěrná vložka [MPa]

Kontrola střižníku na vzpěr slouží k určení jeho kritické (maximální) délky při daném průřezu tak, aby při zatížení nedocházelo k jeho deformaci omezující, nebo znemožňující funkci pro kterou je určen. Ke stanovení kritické délky se vychází z Eulerových vztahů.

- Výpočtový vztah pro střižníky nevedené ve vodící desce [17]

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J}{n_b \cdot F_s}} \quad [\text{mm}] \quad (3.10)$$

l_{krit} – kritická délka střižníku [mm]

E – modul pružnosti v tahu [MPa]

J – moment setrvačnosti průřezu [mm⁴]

$n_b = 1,5$ až 2 – koeficient bezpečnosti [-]

- Výpočtový vztah pro střižníky vedené ve vodící desce [17]

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J}{n_b \cdot F_s}} \quad [\text{mm}] \quad (3.11)$$

Kritická délka střižníku může být stanovena také pomocí diagramu, uvedeného v příloze 2 Obr. 2.

3.1.4 Výpočet výšky střižnice [1] [16] [17]

Střižnice je převážně rovinný celek namáhaný ohybem. Předpokládá se, že zatěžující tlak působí po celém obvodu křivky stříhu a střižnice je po celém obvodu podepřena.

Minimální tloušťka střižnice h se určí ze vztahu 3.12. Hodnota dovoleného namáhání v ohybu σ_{odov} by neměla přesahovat 300 MPa až 400 MPa pro přesné nástroje a 400 MPa až 500 MPa pro výstřižky bez větších požadavků na přesnost nebo kvalitu střižné plochy. Jiný zdroj [16] uvádí vztah 3.13 bez zohlednění tvaru plochy otvoru ve střižnici.

- Výpočtový vztah určení tloušťky střižnice [17]

$$h = \sqrt{\frac{2,5 \cdot F_s}{\sigma_{odov}}} \quad [\text{mm}] \quad (3.12)$$

$$h = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_s} \quad [\text{mm}] \quad (3.13)$$

h – minimální výška střižnice [mm]

σ_{odov} – dovolené namáhání v ohybu [MPa]

3.1.5 Technologičnost výstřížků [1] [2] [3] [4] [9] [15] [17] [18] [19]

Správná konstrukce výstřížku a jeho uspořádání v nástřihovém plánu jsou nezbytné předpoklady pro jeho hospodárnou výrobu. Výstřížek musí vyhovovat nárokům, které jsou na něho kladeny:

- tvar má být účelný, výrobně jednoduchý a estetický, s velkým využitím materiálu,
- větší přesnosti se vyžadují pouze u rozměrů, které mají vliv na funkci,
- materiál má být dobře zpracovatelný, s vhodnou kvalitou povrchu pro daný druh technologické operace, dostupný a levný.

Technologičnost konstrukce výstřížku má zohledňovat činitele ovlivňující proces stříhání:

- nedokonalost stříhání (zkosení střížné plochy, drsnost povrchu),
- pevnost stříhaného plechu a namáhaných částí nástroje,
- výrobní možnosti střížného nástroje.

Kvalita střížné plochy a přesnost výstřížku

Výsledkem prostého stříhání je mírně zkosený a drsný povrch stříhu (obr. 8). Významnými činiteli, které ovlivňují jakost povrchu stříhu jsou zejména:

- konstrukce a stav stříhadla, zejména jeho střížných hran,
- drsnost povrchu pracovních částí stříhadla,
- rovnoměrnost a velikost střížné vůle,
- mechanické vlastnosti stříhaného materiálu,
- rychlost stříhání.

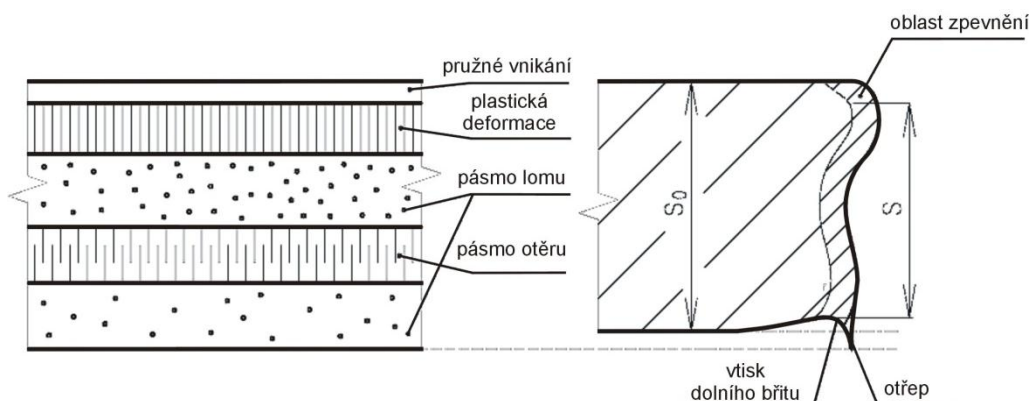
Zkouškami bylo zjištěno, že se drsnost povrchu střížné plochy při vystřihování pohybuje v rozmezí $R_a = 6,3$ až $3,2 \mu\text{m}$ a při ostřihování nebo děrování dosahuje hodnot $R_a = 2,5$ až $6,3 \mu\text{m}$.

Přesnost výstřížku závisí na:

- přesnosti pracovních částí stříhadla, zejména střížníku a střížnice,
- konstrukci nástroje a principu zajištění polohy materiálu,
- druhu a stavu stříhaného materiálu,
- druhu a stavu stříhadla,
- velikosti střížné vůle,
- deformacích při stříhání,
- přesnosti rozměru stříhaného materiálu a jeho tloušťce.

Významným kritériem kvality je výška jehel (ostřin, otřepů) podél křivky stříhu. Tento nežádoucí projev technologie stříhání může být ovlivněn jen zčásti. Je-li ostřina nepřijatelná, musí se zvolit vhodný způsob odstranění. Lisovna by měla být pro tento účel vybavena zařízením pro omílání, které se k odstranění ostřin často využívá. Zařízení se většinou skládá z omílacího bubnu, upevněného pomocí pružin k pevné podstavě, obsahující brusivo vhodného tvaru. Buben je opatřen motorem s excentrem, který po spuštění vyvolává vibrace. Vlivem pohybu bubnu dochází k otěru mezi

výstřížky a abrazivem což vede k odstranění jehel. Prašnost se eliminuje vodní sprchou. Přípustnou výšku jehel uvádí norma ČSN 22 6015.



Obr. 8 Vzhled střížné plochy [9]

Přesnost výstřížků

U výstřížků do tloušťky 4 mm a rozměrů tvaru součásti menších než 200 mm je dosahováno přesnosti IT12 až IT14. Použitím přidržovačů a vodícími stojánky se přesnost tolerance snižuje na IT9 až IT11. Přesným stříháním lze dosáhnout tolerancí IT6 až IT8. Hodnoty dosažitelných přesností vystřihováním a děrováním pro materiál do tloušťky 3 mm jsou uvedeny v tab. 3.2 až 3.5. Pro hodnoty nad 3 mm jsou uvedeny tabulky dosažitelných přesností v příloze 1.

Tab. 3.2 Přesnost vnějších rozměrů výstřížků [1]

Tloušťka plechu [mm]	Vnější rozměr výstřížku [mm]		
	do 50	50 až 120	120 až 260
0,2 až 0,5	0,1 až 0,03	0,15 až 0,05	0,20 až 0,08
0,5 až 1	0,15 až 0,04	0,20 až 0,06	0,30 až 0,10
1 až 2	0,20 až 0,06	0,30 až 0,10	0,40 až 0,12
2 až 3	0,30 až 0,10	0,40 až 0,12	0,50 až 0,15

Tab. 3.3 Přesnost roztečí děrovaných otvorů [1]

Tloušťka plechu [mm]	Rozteče otvorů [mm]		
	do 50	50 až 150	150 až 300
do 1	0,1 až 0,03	0,15 až 0,05	0,20 až 0,08
1 až 2	0,12 až 0,04	0,20 až 0,06	0,30 až 0,10
2 až 4	0,15 až 0,06	0,25 až 0,08	0,35 až 0,12

Tab. 3.4 Vzdálenost otvorů od kraje výstřížku [1]

Tloušťka plechu [mm]	Rozteče otvorů [mm]		
	do 50	50 až 150	150 až 300
do 1	0,50 až 0,25	0,60 až 0,30	0,70 až 0,35
1 až 2	0,50 až 0,25	0,60 až 0,30	0,70 až 0,35
2 až 4	0,60 až 0,30	0,70 až 0,35	0,80 až 0,40

Tab. 3.5 Přesnost děrovaných kruhových otvorů [1]

Tloušťka plechu [mm]	Průměr otvoru [mm]		
	do 10	10 až 50	50 až 100
0,2 až 1	0,06 až 0,02	0,08 až 0,04	0,10 až 0,08
1 až 4	0,08 až 0,03	0,10 až 0,06	0,12 až 0,10

Poloha výstřížků v nástřihovém plánu

Technologičnost ovlivňuje vhodné uspořádání výstřížků na pásu plechu. Tímto uspořádáním se stanoví nástřihový plán, na kterém záleží hospodárnost výroby z pohledu využití materiálu. Pás plechu se volí co nejužší, ale tak, aby bylo zaručeno jeho dokonalé vedení v nástroji a výstřížek nebyl deformován vlivem nevhodně zvolené polohy nebo také nedostatečnou šířkou můstku mezi výstřížky i mezi výstřížkem a okrajem pásu. Velikost přepážek je stanovena v závislosti na geometrii výstřížku a tloušťce plechu dle tabulek 3.6, nebo 3.7. Zjištěná hodnota se dosadí do vzorce 3.14, který slouží k výpočtu délky kroku. Pro určení velikosti okraje při bočním ostřihávání se využije také tab. 3.8. Jiné zdroje doporučují určit velikost můstku z grafu nebo velikost můstku mezi samotnými výstřížky nebo výstřížkem a okrajem pásu plechu nerozlišují. Odpad může být konstrukčního nebo technologického charakteru. Při bezodpadovém stříhání technologický odpad materiálu nevzniká. V praxi je však poměrně málo výstřížků, kde se tento způsob stříhání může uplatnit (obr. 9c). Při tvorbě nástřihového plánu je tedy cílem dosažení maximální hodnoty využití materiálu μ z tabule (3.19) nebo svitku plechu (3.20).

Tab. 3.6 Stanovení šíře odpadu u výstřížku kruhového tvaru [1]

Tloušťka materiálu [mm]	Šířka pásu [mm]							
	Do 15		15 až 50		50 až 100		100 až 200	
	Rozměr a, b							
	a	b	a	b	a	b	a	b
1,3	1,1	1,4	1,6	2	2,1	2,5	3,1	3,8
1,5	1,2	1,5	1,7	2,2	2,2	2,7	3,2	4
1,8	1,4	1,8	1,8	2,2	2,3	2,8	3,3	4,2
2	1,5	2	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,5
2,2	1,6	2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,6	4,5
2,5	1,7	2,2	2,3	2,8	2,7	3,4	3,7	4,7
2,8	1,8	2,2	2,4	3	2,8	3,5	3,8	4,7
3	2	2,5	2,5	3	3	3,7	4	5

Tab. 3.7 Stanovení velikosti odpadu u výstřížku obdélníkového tvaru [1]

Tloušťka materiálu [mm]	Šířka pásu [mm]							
	Do 15		15 až 50		50 až 100		100 až 200	
	Rozměr a, b							
	a	b	a	b	a	b	a	b
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	4	4,3
2	1,2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4,2	5
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2
2,8	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,5	5,2
3	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	5	5,5

Tab. 3.8 Šířka okraje při ostřihování bočním nožem [19]

Tloušťka plechu [mm]	c [mm]
do 1	1,5
1,5 až 2	2
2,5 až 3,5	2,5

- Výpočtový vztah pro určení délky kroku [1]

$$k = b + l \quad [\text{mm}] \quad (3.14)$$

k – délka kroku [mm]

b – velikost můstku (přepážky) mezi výstřížky [mm]

l – délka výstřížku v podélném směru pásu [mm]

Výpočet využití materiálu tabule plechu

- Určení šířky pásu plechu [15]

$$B = 2 \cdot a + h_s \quad [\text{mm}] \quad (3.15)$$

B – šířka pásu plechu [mm]

a – velikost můstku (přepážky) k okraji pásu [mm]

h_s – šířka výstřížku [mm]

- Počet pásů z tabule plechu [15]

$$p_t = \frac{B_t}{B} \quad [\text{ks}] \quad (3.16)$$

p_t – počet pásů z tabule plechu [ks]
 B_t – šířka tabule plechu [mm]

- Počet výstřížků z pásu plechu [15]

$$n_v = \frac{L}{k} \quad [\text{ks}] \quad (3.17)$$

n_v – počet výstřížků z pásu plechu [ks]
 L – délka pásu plechu [mm]

- Celkový počet výstřížků z tabule plechu [15]

$$n_c = n_v \cdot p_t \quad [\text{ks}] \quad (3.18)$$

n_c – počet výstřížků z tabule plechu [ks]

- Výpočtový vztah pro využití materiálu tabule plechu [15]

$$\mu = \frac{S_v \cdot n_c}{S_t} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.19)$$

μ – využití materiálu tabule plechu [%]
 S_v – plocha výstřížku [mm²]
 $S_t = B_t \cdot L$ – plocha tabule plechu [mm²]

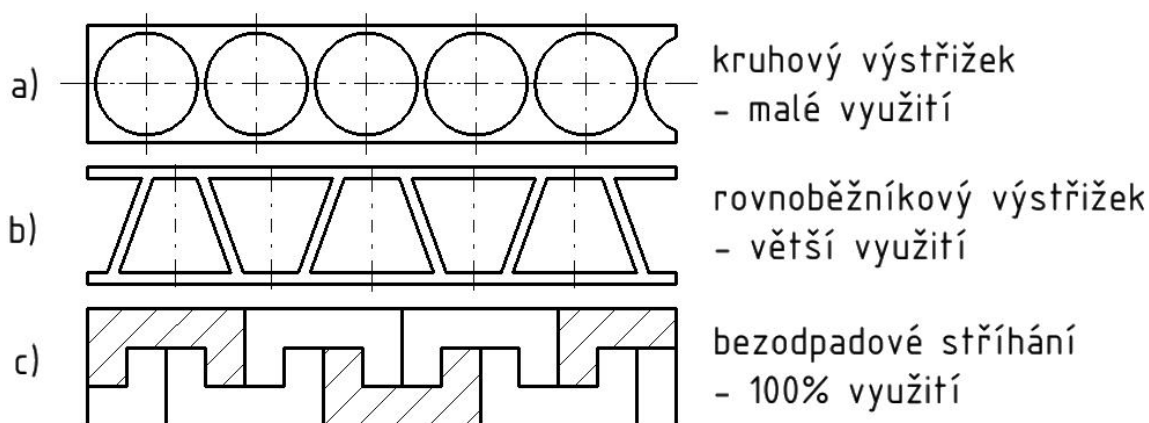
Výpočet využití materiálu svitku plechu

Využití materiálu při použití svitku μ_p se určí podobným způsobem jako u tabule plechu. Nevzniká však žádný odpad z dělení tabule plechu na pásy.

- Výpočtový vztah pro využití materiálu svitku plechu [15]

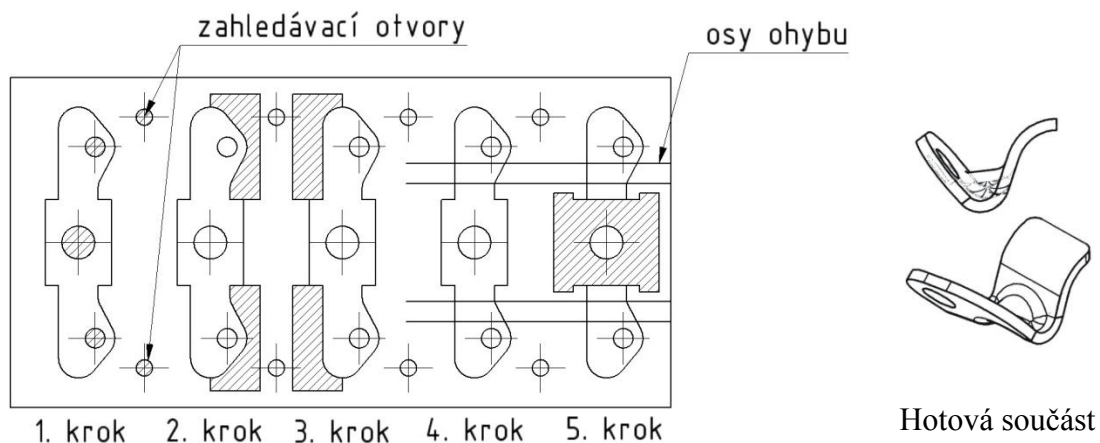
$$\mu_p = \frac{S_v \cdot n_b}{S_b} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.20)$$

μ_p – využití materiálu svitku plechu [%]
 n_b – počet výstřížků ze svitku [ks]
 S_b – plocha svitku [mm²]



Obr. 9 Různé využití materiálu [1]

Nástřihový plán neovlivňuje pouze samotný stříh a můstky. Zohlednit se musí také následující zpracování výstřížku. Zejména v postupovém sdruženém nástroji doplněném o další technologie jako jsou ohýbání nebo tažení. Například pro dosažení symetrického rozložení sil při ohýbání, aby součást neměla tendenci k posouvání vlivem nerovnoměrného zatěžování ohybníkem, může být nástřihový plán upraven tak, aby se tyto síly vyrovnaly, i když se tím zmenší využití materiálu. Často se pak mohou eliminovat přídržovače a tváření má stabilní výsledky. Řešením takového problému může být např. „dvojkus“, což jsou dva kusy výstřížku jednoho typu, symetricky polohované k podélné ose nástřihového plánu, a které se v poslední operaci od sebe odstříhnou. Princip je patrný z obr. 10.

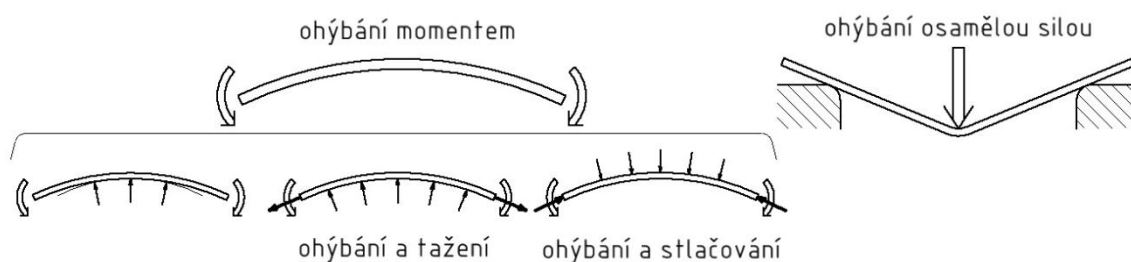


Obr. 10 Nástřihový plán pro „dvojkus“ s využitím symetrie součásti

3.2 Ohýbání [3] [9] [17]

Ohýbání je trvalé namáhání materiálu při kterém se materiál ohýbá nebo rovná. Vzhledem k malé změně průřezu při ohýbání tato technologie patří do oblasti plošného tváření. Z teoretického hlediska jsou známy dva druhy ohybu, a to ohyb lokálními silami a ohýbání vnějšími momenty. V případě působení vnějších momentů rozlišujeme kombinace ohýbání s tažením nebo stačováním (obr. 11).

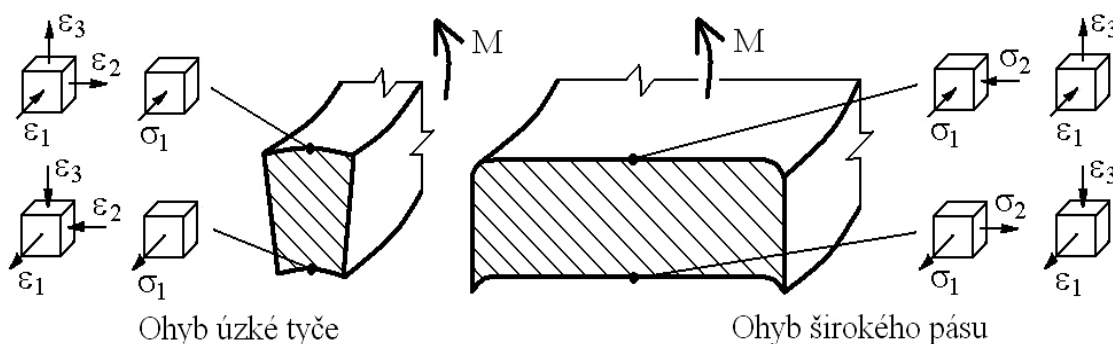
Ve většině případů se ohýbání provádí za studena. Za tepla se provádí u materiálů křehkých, nebo s velkým průřezem a o vyšší pevnosti.



Obr. 11 Ohýbání: a) momentem, b) osamělou silou [9]

Dokud maximální napětí způsobené ohýbáním materiálu nepřevyšuje mez kluzu σ_k , odpovídá průběh napětí v jeho průřezu závislostem Hookova zákona a nastává pružná deformace. Po odstranění zatěžující síly se materiál vrátí do původního stavu před zatížením. Dalším zvyšováním ohybového momentu vzniknou ve vnějších vláknech plastické deformace trvalého charakteru.

Při ohýbání úzkých polotovarů ($b < 3 \cdot s$) obdélníkového průřezu, kdy je tloušťka větší než šířka, se může napětí ve směru šířky zanedbat. Napjatost na povrchu vnější stany bude odpovídat jednoosému tahu a na vnitřní straně jednoosému tlaku s trojosým schématem deformace. Šířka ohýbaného materiálu se na vnější straně ohybu zúží a na vnitřní rozšíří.



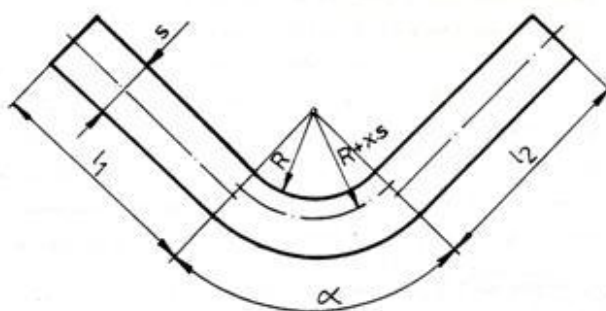
Obr. 12 Schéma napjatosti a deformace při ohýbání: a, b) úzkých polotovarů, a, c) širokých polotovarů [9]

Při ohýbání širokých pásů ($b > 3 \cdot s$) se deformace materiálu v příčném směru vzhledem k jeho šířce neprojevuje. Tomu odpovídá stav rovinné napjatosti v krajních vláknech ohýbaného materiálu. Proto se schémata napjatosti a deformace při ohýbání

úzkých prutů a širokých pásů vzájemně odlišují. Schémata napjatostí a deformací při ohýbání jsou uvedena na obr. 12.

3.2.1 Poloha neutrální osy [2] [14] [15] [16]

Mezi vrstvami materiálu, které se natahují na vnější straně ohybu a stlačují na vnitřní straně ohybu se nachází neutrální vrstva. Je to plocha (osa), která se vlivem ohýbání ani neprodlužuje a ani nezkracuje. Její poloha se však posouvá ze střední polohy směrem k vnitřní ploše k ohýbanému materiálu v závislosti na velikosti zakřivení a druhu ohybu. V případě ohýbání v kombinaci s tažením dochází k posunutí neutrální osy směrem k vnitřnímu povrchu ohýbaného materiálu a při kombinaci ohýbání se stlačováním se může neutrální plocha posunout nad geometrický střed ohýbané součásti (obr. 13).



Obr. 13 Posunutí neutrální osy v místě ohybu [14]

Při posunutí dochází ke změně její délky, jejíž znalost je nutná pro určení velikosti výchozího materiálu před ohýbáním. Délka oblouku neutrální osy ohybu l_o se určí vztahem 3.21. Hodnota součinitele x pro určení polohy neutrální osy je uvedena v tab. 3.9 a závisí na tloušťce plechu a poloměru ohybu.

- Výpočtový vztah pro určení délky oblouku neutrální osy l_o [15]:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R + x \cdot s) \quad [\text{mm}] \quad (3.21)$$

l_o – délka oblouku neutrální osy [mm]

R – vnitřní poloměr ohybu [mm]

x – součinitel polohy neutrální osy [-]

α – úhel ohybu [°]

Tab. 3.9 Součinitel x pro určení poloměru neutrální osy [16]

$\frac{R}{s}$	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,486

Celková délka rozvinutého tvaru se určí součtem délek rovných částí a délek neutrálních os oblouků, ze kterých se součást skládá.

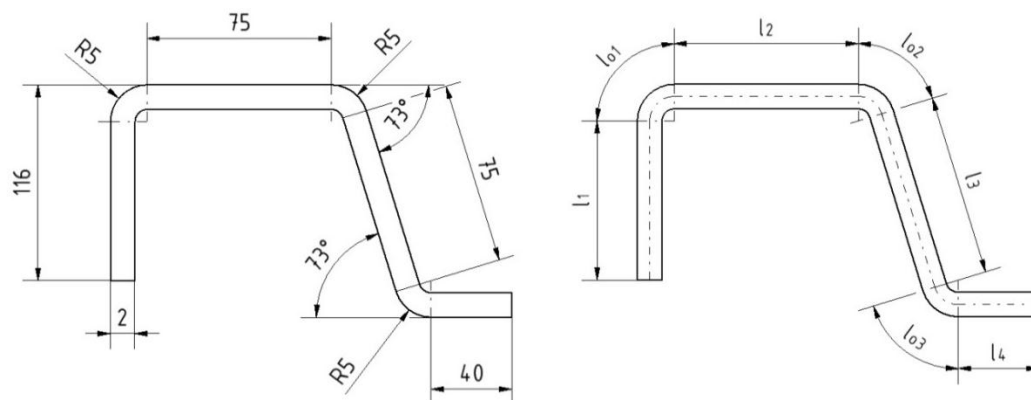
- Výpočtový vztah pro určení celkové délky rozvinutého tvaru [2]

$$l_c = l_1 + l_2 + l_n \dots + l_{o1} + l_{o2} + l_{on} \dots \quad [\text{mm}] \quad (3.22)$$

l_c – celková délka rozvinutého tvaru [mm]

l_n – délky rovných úseků [mm]

l_{on} – délky oblouků neutrálních os [mm]

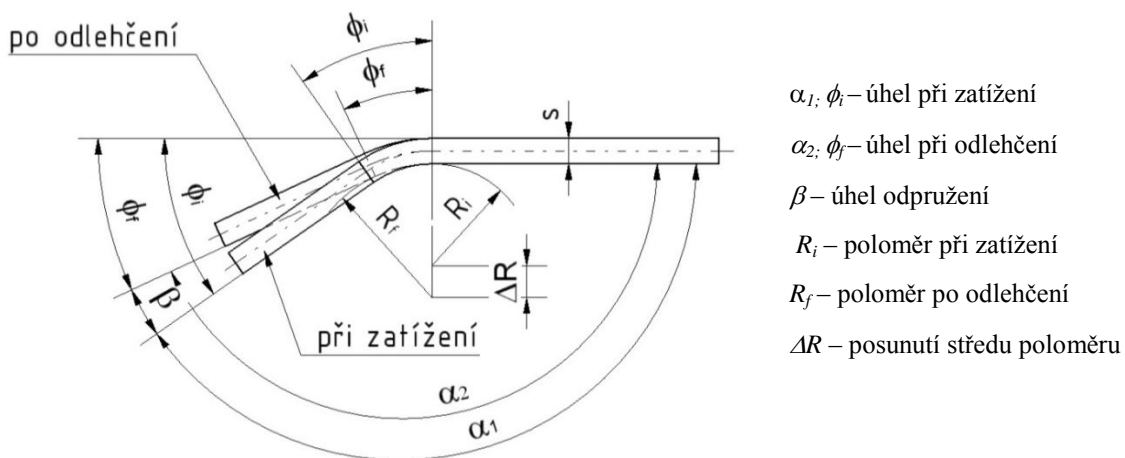


$$l = l_1 + l_{o1} + l_2 + l_{o2} + l_3 + l_{o3} + l_4$$

Obr. 14 Příklad výpočtu délky rozvinutého tvaru [2]

3.2.2 Odpružení [2] [3] [15] [16] [17]

Každou plastickou deformaci doprovází deformace elastická. Vlivem nerovnoměrného napětí v místě ohybu není překročena mez pružnosti ve všech vláknech ohýbaného materiálu. Materiál má tak snahu vrátit se do původní polohy před ohýbáním. Trvalý stav úhlu ramen ohýbané součásti je pak rozdílem mezi úhlem při ohybu a po odlehčení ohýbací síly jak uvádí vztah 3.23. Tato vlastnost je známá jako odpružení a její princip graficky znázorňuje obr. 15.



Obr. 15 Odpružení při ohýbání [2]

$$\beta = \alpha_1 - \alpha_2 \quad [^\circ] \quad (3.23)$$

β – velikost odpružení $[^\circ]$

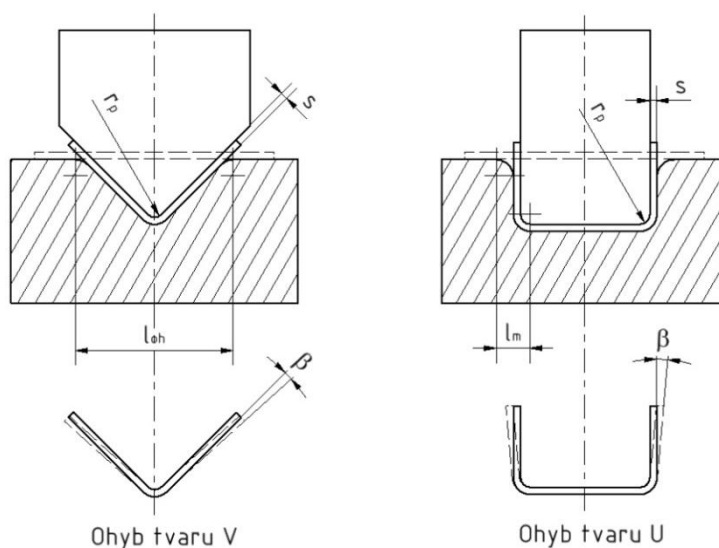
α_1 – velikost úhlu při zatížení $[^\circ]$

α_2 – velikost úhlu po odlehčení $[^\circ]$

Velikost odpružení je ovlivněna:

- vlastnostmi ohýbaného materiálu,
- tloušťkou plechu,
- velikostí úhlu ohybu,
- poměrem poloměru ohybu k tloušťce materiálu, pokud hodnota klesá, snižuje se velikost odpružení,
- konstrukcí ohýbadla.

Pro výpočet velikosti odpružení rozeznáváme dva druhy ohybu, a to do tvaru V nebo U (obr. 16). Hodnotu velikosti odpružení je možné určit pomocí výpočtu nebo odečtením z diagramu uvedeného v příloze 3 obr. 1. V případě použití výpočtu jsou výpočtové vztahy odlišeny zvláště pro tvar ohybu do V (3.24) nebo U (3.25). Jiný zdroj uvádí hodnotu odpružení odečtením z tabulky tab. 3.10 v závislosti na poměru R/s pro různé meze kluzu R_e , nebo druhu materiálu.



Obr. 16 Schéma odpružení [17]

- Výpočtový vztah pro určení velikosti odpružení při ohybu tvaru V [17]

$$\tan \beta = 0,375 \cdot \frac{l_{oh}}{k_x \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad [^\circ] \quad (3.24)$$

l_{oh} – vzdálenost ohýbacích hran [mm]

k_x – součinitel polohy neutrální osy $k_x = 1 - x$, pro x uvedené tab. 3.9 [-]

R_e – mez kluzu v tahu [MPa]

- Výpočtový vztah pro určení velikosti odpružení při ohybu tvaru U [17]

$$\tan \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k_x \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad [^\circ] \quad (3.25)$$

$l_m = r_m + r_p + 1,2 \cdot s$, délka ramene ohybu [mm]

r_m – poloměr ohybnice [mm]

r_p – poloměr ohybníku [mm]

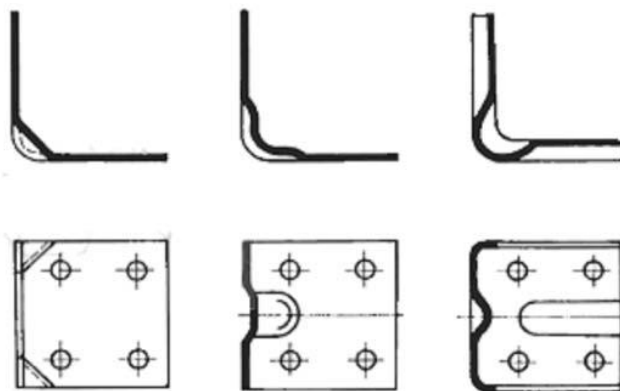
Tab. 3.10 Hodnoty úhlu odpružení pro vybrané materiály [15]

Materiál	R/s	
	0,8 až 2	> 2
Ocel Re 320 MPa	1°	3°
Ocel Re 320 až 400 MPa	3°	5°
Ocel Re 400 MPa	5°	7°
Mosaz měkká	1°	3°
Mosaz tvrdá	3°	5°
Hliník	1°	3°

Velikost odpružení není možné určit přesně a v praxi se stává, že jednotlivé dodávky polotovarů vykazují odlišné chování při ohýbání. Při výrobě ohýbadla je dobré tuto skutečnost zohlednit vhodnou konstrukcí nástroje, která umožňuje seřízení ohybníku nebo ohybnice pro dosažení ohybu požadovaných parametrů. Další možností, jak ovlivnit velikost ohnutí, je seřízením zdvihu beranu na lisovacím stroji. Po výrobě zkušebních vzorků a odladění nástroje to je nejčastější způsob, jakým se velikost odpružení při ohýbání ovlivňuje.

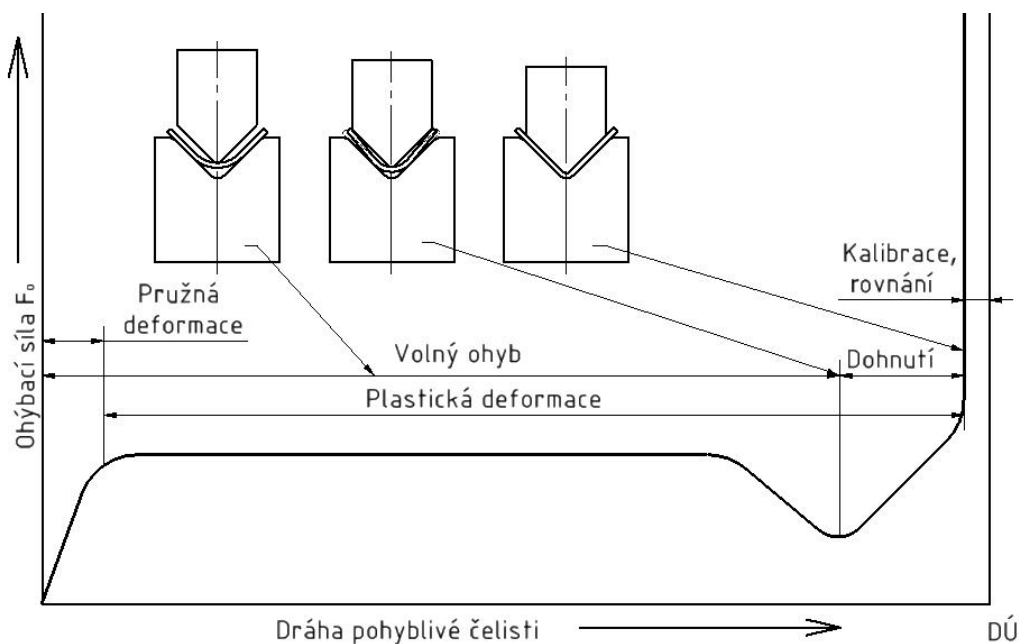
Odpružení se může zmenšit nebo zcela eliminovat:

- zmenšením úhlu na ohybníku,
- přidržovačem v nástroji,
- vylisováním výztužných žeber (obr. 17),
- zpevnění materiálu deformací,
- postupným ohýbáním.



Obr. 17 Zpevnění ohýbaných součástí prolisy [3]

Jiný způsob jak zajistit přesný ohyb, dává ohýbání s kalibrací. Kalibrační účinek je dán velikostí tlaku na konci pracovního zdvihu ohýbadla. Seřízení takového ohýbadla vyžaduje delší čas a zkušeného seřizovače lisovacích nástrojů. Seřízení probíhá postupným snižováním dolní úvratě beranu lisu, dokud v ohýbaném materiálu nedochází k lokálním deformacím v místě a okolí ohybu. Pokud by došlo ke snížení beranu pod úroveň možností plastického toku materiálu, mohlo by dojít k havárii ohýbacího nástroje. Průběh ohýbání s kalibrací je znázorněn na obr. 18.



Obr. 18 Ohýbání s kalibrací, DÚ – dolní úvrat' [3]

3.2.3 Ohýbací síla a práce [2] [6] [12] [16] [17]

Pro výpočet velikost ohýbací síly a práce je možné použít různé výpočtové vztahy podle zdroje, kde byly uvedeny ([2], [12], [16], [17]) nebo mohou být použity vzorce pro výpočet síly při ohýbání uvedených v normě ČSN 22 7340 (3.27 a 3.30). Stejně jako u odpružení se výpočet rozlišuje podle tvaru ohybu V nebo U.

Ohýbací síla a práce ohybu tvaru V

- Výpočtový vztah pro určení síly ohybu tvaru V [3]

$$F_{ov} = \frac{R_m \cdot b_s \cdot s^2}{100 \cdot l_{oh}} \quad [\text{kN}] \quad (3.26)$$

F_{ov} – ohýbací síla ohybu V [kN]
 b_s – šířka ohýbané součásti [mm]

- Výpočtový vztah pro určení síly ohybu tvaru V dle ČSN 22 7340 [6]

$$F_{ov} = \frac{b_s \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad [\text{N}] \quad (3.27)$$

- Výpočtový vztah pro určení spotřeby práce při ohýbání tvaru V [12]

$$A_{ov} = m_v \cdot \frac{F_{ov} \cdot l_{oh}}{1000} \quad [\text{J}] \quad (3.28)$$

A_{ov} – ohýbací práce ohybu V [J]

$m_v = 0,33$ – opravný koeficient [-]

Ohýbací síla a práce ohybu tvaru U

- Výpočtový vztah pro určení síly ohybu tvaru U [3]

$$F_{ou} = \frac{1}{2} \cdot R_m \cdot b_s \cdot s \quad [\text{N}] \quad (3.29)$$

F_{ou} – ohýbací síla ohybu U [N]

- Výpočtový vztah pro určení síly ohybu tvaru U dle ČSN 22 7340 [6]

$$F_{ou} = (1 + 7 \cdot f) \frac{b_s \cdot s^2 \cdot R_e}{R + s} \quad [\text{N}] \quad (3.30)$$

f – složka třecí síly [-]

- Výpočtový vztah pro určení spotřeby práce při ohýbání tvaru U [12]

$$A_{ou} = m_u \cdot \frac{F_{ou} \cdot h_u}{1000} \quad [\text{J}] \quad (3.31)$$

A_{ou} – ohýbací práce ohybu U [J]

$m_u = 0,66$ – opravný koeficient [-]

h_u – pracovní zdvih [mm]

- Výpočtový vztah pro určení síly přidržovače [3]

$$F_p = 0,25 \cdot F_o \quad [\text{N}] \quad (3.32)$$

F_o – celková ohýbací síla [N]

V případě ohýbání materiálu s kalibrací (obr. 18) bude výsledná síla F_{ok} větší. Příčinou je vývin větší síly na kalibraci s přihlédnutím na toleranci tloušťky ohýbaného materiálu.

$$F_{ok} = 2 \cdot F_o \quad [N] \quad (3.33)$$

F_{ok} – ohýbací síla pro ohyb s kalibrací [N]

F_o – ohýbací síla [N]

3.2.4 Technologičnost ohýbaných součástí [2] [3] [9] [17]

Technologičnost ohýbaných součástí z plechu ovlivňuje především tvárnost ohýbaného materiálu, technologický postup výroby, složitost tvaru a konstrukce součástí.

Nedokonalosti ohýbání jsou:

- nepřesný úhel ohybu,
- deformace průřezu v oblasti ohybu,
- deformace ramen při volném ohybu,
- nepřesná poloha osy ohybu,
- odlišný tvar ohybu v jeho délce,
- porušení materiálu,
- zpevnění materiálu vlivem tváření za studena.
- materiál má být dobře zpracovatelný, dostupný a levný, s vhodnou kvalitou povrchu.

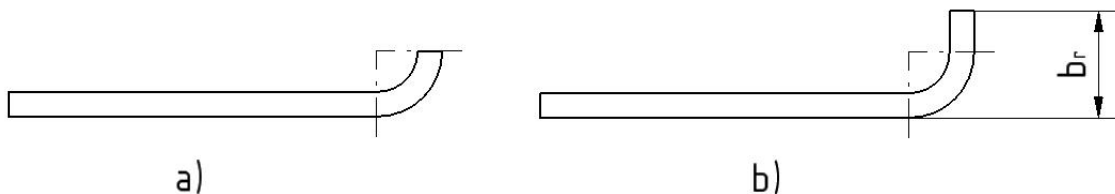
Pro udržení kvality výrobku musí být dodrženy tyto zásady:

- volit menší poloměr ohybu,
- dodržet kolmost osy ohybu ke směru vláken materiálu,
- nezmenšovat tolerance rozměrů součástí pod možnosti, které lze při ohýbání dosáhnout,
- okraje ohybu musí být kolmé na osu ohybu,
- délka ramene ohybu musí mít takovou minimální délku, aby byl ohyb proveditelný (obr. 19), pokud to není umožněno, musí se rameno vyrobít delší a po ohnutí jeho přebytek odstranit,
- zamezit vhodným způsobem pohybu materiálu při ohýbání součástí s různou délkou nebo šířkou ramen
- konstrukční prvky musí být umístěny v dostatečné vzdálenosti od ohybu, aby nedošlo k jejich deformaci (obr. 20),
- oblast ohybu se musí uvolnit od neohýbané části součástí (obr. 21),
- po ohýbání musí být umožněno snadné a rychlé vyjímání výlisku z nástroje.

- Výpočtový vztah pro určení minimální délky ramene [3]

$$\begin{aligned} b_r &\geq 3 \cdot s + r, \text{ pro } r < 1, \text{ nejméně však } 2 \text{ mm} \\ b_r &\geq (2,5 \text{ až } 3) \cdot s, \text{ pro } r > 1 \end{aligned} \quad [\text{mm}] \quad (3.34)$$

b_r – nejmenší délka ramene [mm]

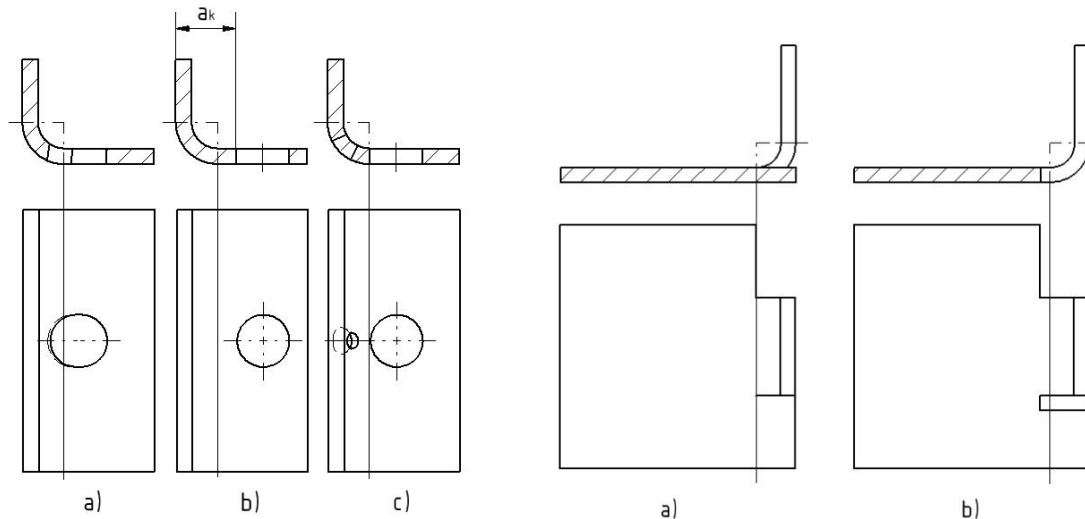


Obr. 19 Délka ramene ohybu: a) příliš krátké rameno, b) správně zvolená délka ramene [3]

- Výpočtový vztah pro určení minimální vzdálenosti konstrukčního prvku od oblasti ohybu [3]

$$a_k \geq r + 2 \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (3.35)$$

a_k – nejmenší vzdálenost konstrukčního prvku od oblasti ohybu součásti [mm]



Obr. 20 Umístění konstrukčních prvků [3]

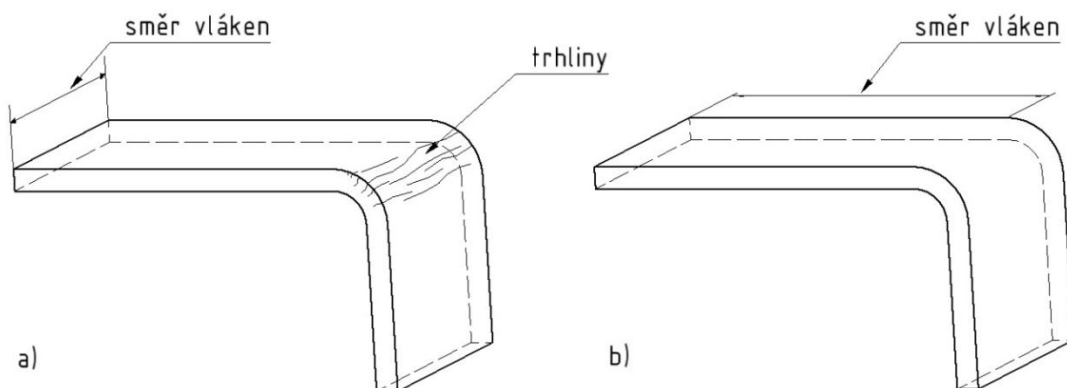
Obr. 21 Úprava výlisků [3]

Nedokonalosti při ohýbání mohou být zmírněny úpravami jako jsou např. rovnání, kalibrování nebo zpevňujícími prolisy v místě ohybu. Přidáním výrobní operace se však zvyšují náklady na výrobu výlisku nebo se do zvýšení celkových nákladů projeví vyšší cena nástroje, ve kterém ohýbání probíhá.

Stanovení poloměrů R_{min} a R_{max}

Poloměr ohybu je vhodné volit malý, protože s menším poloměrem ohybu se zmenšuje také odpružení. Nejmenší poloměr ohybu R_{min} omezuje přípustné zeslabení tloušťky materiálu v okolí ohybu (doporučuje se zeslabení nejvíce o 20%) nebo ztráta jeho soudržnosti vlivem překročení meze pevnosti v tahu R_m . Projevem ztráty soudržnosti jsou trhliny na vnější straně ohybu (obr. 22). Zásadou při ohýbání plechů je vést osu ohybu kolmo k vláknům materiálu, tj. kolmo na směr válcování plechu při jeho výrobě. Pokud je nutné vést osu ohybu souběžně se směrem vláken, musí se R_{min} zvětšit 1,5 až 2x. I při ohybu menším než 90° se R_{min} zvětšuje o 10 až 40 %.

Hodnota R_{min} se určuje na základě výpočtového vztahu 3.36, nebo odečtením z tabulky 3.12, která zohledňuje mez pevnosti v tahu ohýbaného materiálu, jeho tloušťku a směr vláken.



Obr. 22 Ohyb plechu a) špatný s trhlinami, b) správný bez trhlín [2]

– Výpočtový vztah pro určení minimálního poloměru ohybu R_{min} [9]

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) = c_m \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (3.36)$$

R_{min} – minimální poloměr ohybu [mm]

ε_{tmax} – trvalá poměrná deformace [-]

c_m – součinitel technologických vlastností materiálu a směru vláken materiálu dle tab. 3.11 [-]

Tab. 3.11 Hodnoty součinitele c_m [9]

Materiál	c_m [-]
Měkká měď	0,25
Měkká mosaz	0,3 až 0,4
Hliník	0,35
Měkká ocel	0,3 až 0,7

Tab. 3.12 Nejmenší poloměr ohybu [17]

Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	Ohyb napříč nebo podél vláken	Nejmenší poloměr ohybu R_{min} pro tloušťky plechu [mm]				
		1	od 1 do 1,5	od 1,5 do 2,5	od 2,5 do 3	od 3 do 4
do 392	napříč podél	1	1,6	2,5	3	5
		1	1,6	2,5	3	6
392 až 490	napříč podél	1,2	2	3	4	5
		1,2	2	3	4	6
490 až 637	napříč podél	1,6	2,5	4	5	6
		1,6	2,5	4	5	8
Nejmenší poloměry ohybu platí pro úhly ohybu $\alpha \leq 120^\circ$, pro $\alpha \geq 120^\circ$ se volí nejbližší větší poloměr ohybu						

Maximální poloměr ohybu je takový, při kterém v krajních vláknech na vnější straně ohybu dojde k překročení meze pružnosti v tahu a nastává počátek plastické deformace. Je to stav, kdy po odstranění ohýbací síly ohýbaný materiál vykazuje trvalou deformaci ohybem. Hodnotu maximálního poloměru ohybu lze určit výpočtem 3.37 pro vnitřní stranu ohybu za pomoci Hookova zákona a rovnice pro trvalou poměrnou deformaci.

- Výpočtový vztah pro určení maximálního poloměru ohybu [9]

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (3.37)$$

R_{max} – maximální poloměr ohybu [mm]

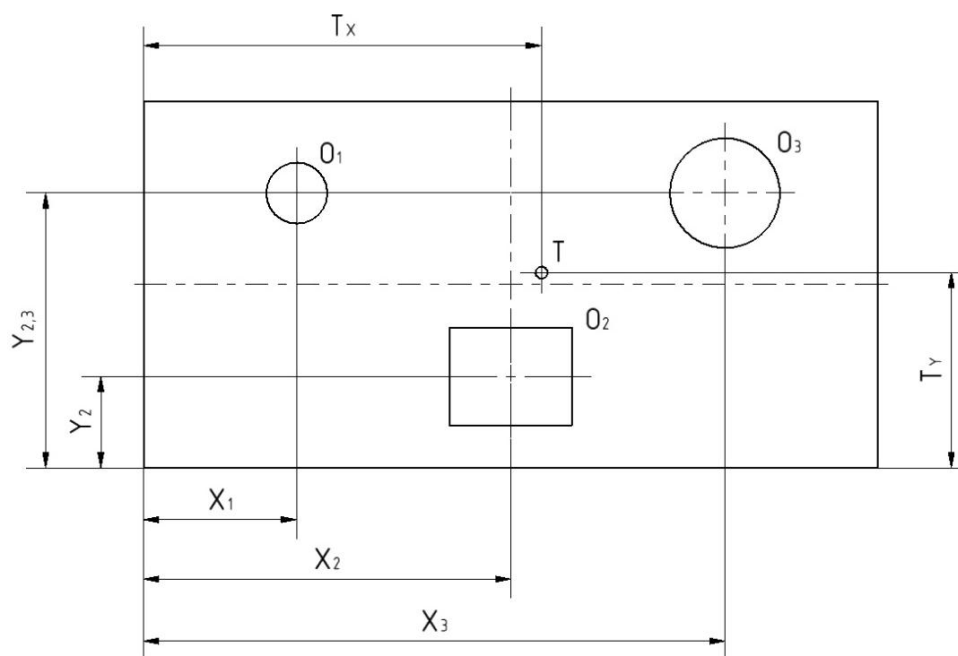
3.3 Těžiště sil [2] [10] [17] [20]

Aby byl nástroj správně vyvážen, musí se určit poloha těžiště sil působících od všech střížných a ohýbacích částí nástroje. Do tohoto místa bude upevněna upínací stopka lisovacího nástroje. Pokud je nástroj vybaven pružnými přidržovači nebo jinými komponenty, které mají na rozložení sil vliv, musí se také do výpočtu zahrnout. Nesprávné vyvážení by mělo za následek asymetrické namáhání vedení nástroje a lisu. Tím by se zásadně snížila životnost nástroje. Pokud by klopný moment překonal soustavu vedení stroje a nástroje, mohlo by dojít k havárii např. přesazením hrany střížníku a hrany střížnice. Velmi obtížně by se také nástroj seřizoval a udržování stabilních rozměrů výlisku by bylo ztíženo.

Ne vždy je však možné vyhovět ideálním požadavkům a stopka se musí umístit mimo těžiště sil. Příčinou může být vnitřní uspořádání nástroje, jeho velikost nebo nedostatečný prostor k manipulaci s plechem. V lisovnách se nachází často kapacitní nouze a tak se stopka umístí do takové polohy, aby bylo možné nástroj upnout do prostoru menšího lisu, který disponuje dostatečnou silou. Takový návrh však musí konstruktér zvážit a rozhodnout, jestli je tato úprava pro daný nástroj vhodná. Nezbytná je také znalost konkrétních výrobních podmínek.

Pro určení těžiště sil se může využít metoda grafická, početní nebo se těžiště sil určí pomocí počítačové podpory při konstruování nástroje v systému CAD. Jednotlivé metody mají tyto výhody a nevýhody:

- grafická metoda je nejméně vhodná pro její složitost a nepřesnost, způsobenou rýsováním a následným odměřováním,
- početní metoda se používá nejčastěji a její výsledky jsou velmi přesné. Výpočet je jednoduchý a provádí se samostatně pro zjištění polohy těžiště T_x v ose x a T_y v ose y . Příklad řešení těžiště sil početní metodou znázorňuje obr. 23, kdy se hodnoty souřadnic polohy těžiště T_x a T_y určí pomocí vztahu 3.38,
- k určení těžiště sil může být také využito moderní počítačové podpory CAD. Výhodná je zejména tím, že jakékoli změny rozložení jednotlivých sil se ihned aktualizují a odpadá tak zdlouhavé ověřování nové polohy těžiště jako u početní metody nebo metody grafické.



Obr. 23 Určení těžiště sil [17]

- Výpočtový vztah pro určení těžiště sil [17]:

$$T_x = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i} = \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_3 + \dots F_n \cdot x_n}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots F_n} \quad [\text{mm}] \quad (3.38)$$

$$T_y = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i} = \frac{F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + F_3 \cdot y_3 + \dots F_n \cdot y_n}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots F_n}$$

T_x – poloha těžiště v ose x [mm]

T_y – poloha těžiště v ose y [mm]

x_n – velikost souřadnice x [mm]

y_n – velikost souřadnice y [mm]

F_n – samostatná síla [N]

3.4 Nástroje pro stříhání a ohýbání [2] [3] [8] [17]

Pro realizaci zpracování plechu se používají nástroje mechanicky uzpůsobené tak, aby vykonáváním pracovních pohybů přetvářeli plech do požadovaného tvaru součástí. V případě složitějších nástrojů je zdroj síly lis. V takovém případě hovoříme o lisovacím nástroji.

Výsledkem lisování je trvalá přeměna tvářeného materiálu působením tlaku s oddělováním částic u stříhání nebo s přemísťováním částic u ohýbání, rovnání, tažení nebo jinými způsoby zpracování plechů (ražení, lemování atd.). Lisovací nástroje pro plošné tváření se rozlišují z hlediska počtu a druhu operací na:

- jednoduché nástroje,
- postupové nástroje, u kterých následuje dva a více úkonů za sebou,
- sloučené nástroje, ve kterých je současně zhotoven výrobek několika pracovními úkony jednoho druhu, jako např. děrováním současně s vystřihováním,
- sdružené nástroje, ve kterých je sdruženo několik pracovních úkonů různého druhu, jako např. vystřihování a ohýbání.

Z hlediska zavádění a vyjímání materiálu a polotovarů na:

- nástroje s ručním volným vkládáním,
- nástroje s ručním vkládáním s použitím dorazů,
- nástroje mechanizované,
- nástroje poloautomatické,
- nástroje automatizované.

Podle způsobu pomocných zařízení a vnitřním uspořádání:

- s nebo bez přidržovačů,
- s nebo bez vyhazovačů,
- bez vedení,
- s vodíci sloupky valivými nebo kluznými,
- s vodící deskou pevnou nebo odpruženou.

Návrh, konstrukce a výroba nástroje se musí zhodnotit z pohledu ekonomického přínosu, bezpečnosti práce a technické náročnosti na realizaci jeho výroby.

Z hlediska ekonomického je třeba zajistit maximální využití materiálu a energií vstupujících do výrobního procesu. Stroje a přídatná zařízení je nutné zvolit tak, aby bylo maximálně využito jejich možností a výkonů při minimálních nákladech.

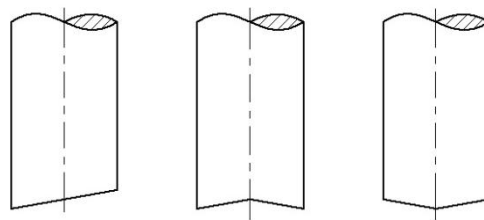
Bezpečnostní opatření musí být taková, aby bylo používání nástrojů v maximální míře bezpečné a obsluha chráněna nejen před přímým nebezpečím pohybujících se jeho částí, ale také proti možnému vymrštění úlomků částí nástroje nebo tvářeného materiálu z pracovního prostoru.

Technické řešení nástroje zohledňuje:

- vyrobiteľnosť nástroje a jeho mechanické vlastnosti,
- montáž a vyměnitelnost jeho součástí,
- životnost a trvanlivost funkčních součástí,
- cenu,
- bezpečnost při používání.

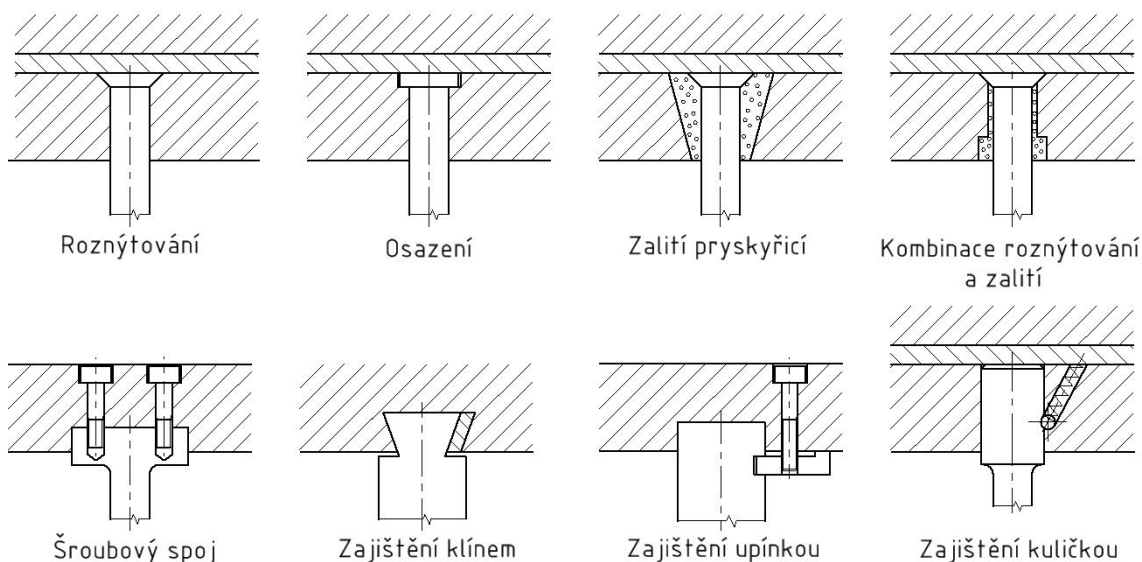
3.4.1 Konstrukční řešení střižných částí nástrojů [2] [3] [17]

Základem střižného nástroje jsou střižník a střižnice. Střižníky se konstruují buď s rovným čelem, kdy stříh probíhá současně po celém obvodu, nebo v případě potřeby snížení střižné síly se skoseným čelem. V tom případě dochází k postupnému stříhu po jejich obvodě. Příklady možných způsobů řešení střižníků se zkoseným čelem jsou uvedeny na obr. 24. Jiným způsobem, jak snížit střižnou sílu, je stupňovité uspořádání střižníků, kdy jednotlivé střižníky mají rozdílné délky a tak stříh všech tvarů neprobíhá současně. Volba vhodného řešení střižníků a střižnice se musí pečlivě zvážit.



Obr. 24 Zkosení čel střižníků [2]

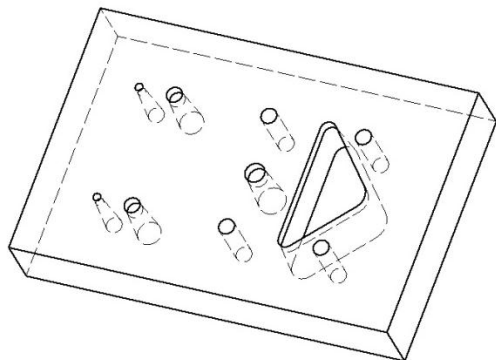
Způsoby upnutí střižníků v kotevní desce jsou uvedeny na obr. 25. Jako nejméně vhodný způsob se jeví zajištění polohy popuštěním a roznýtováním hrany na opěrné straně střižníku a to nejen pro svoji pracnost při výrobě a lícování, ale protože v místě rozšíření často vznikají trhliny a hrana se odlomí. Životnost tohoto zajištění je velmi malá. Nejvíce používaným způsobem zajištění je pomocí osazení různé geometrie podle tvaru střižníku. Často také dochází k zajištění pomocí šroubů. V takovém případě je vhodné určit stírací sílu a porovnat ji s pevností šroubového spoje. Zajištěním upínkou nebo pomocí kuličky odpadá nutnost demontovat nástroj při výměně střižníku. Tento způsob se používá v nástrojích, kde je uvažováno s častou výměnou střižníku.



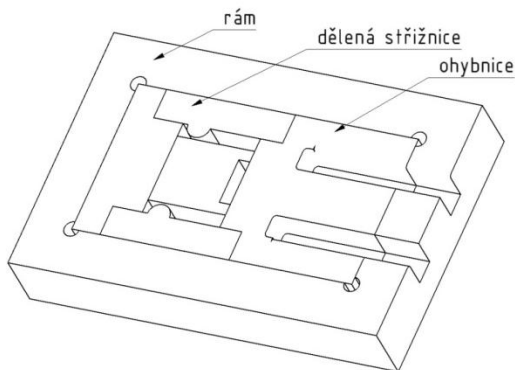
Obr. 25 Způsoby zajištění střižníků [17]

Střižnici je možné navrhnout celistvou (obr. 26), vyrobenou z jednoho kusu materiálu nebo skládanou z více částí, jak uvádí obr. 27. To je výhodné zejména v případě velkých nástrojů, nástrojů postupových nebo sdružených, kdy kvůli možnému lokálnímu porušení není nutná výměna celistvé střižnice větších rozměrů. Další možností může být použití vložkované střižnice, kdy se do konstrukční oceli

vsadí vložka z nástrojového materiálu s požadovaným tvarem a zajistí se vhodným způsobem. Méně často se využívá tzv. bandážovaných střížnic, kdy je do nástrojového materiálu uložena střížná vložka ze slinutých karbidů.



Obr. 26 Celistvá střížnice

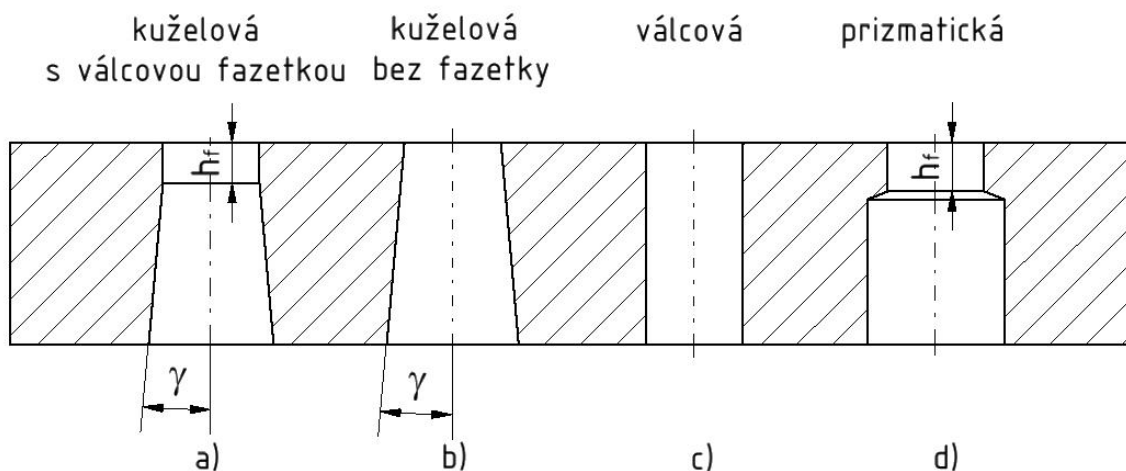


Obr. 27 Dělená střížnice kombinovaná s ohybnicí

Otvory ve střížnici, kterými výstřižky opouštějí pracovní prostor nástroje se většinou upravují symetrickým rozšířením spodní části tohoto otvoru. Bez této úpravy vzniká vysoké riziko postupného pěchování vystřižených plechů v otvoru, čímž dochází k přetížení střížníku i střížnice.

Způsob provedení odlehčení má vliv na životnost střížnice a přesnost výstřižku. V případě kuželového odlehčení bez fazetky podle obr. 28b se s postupným ostřením zvětšuje střížná vůle a tím se mění rozměr výstřižku a kvalita střížné plochy. Fazetka zajišťuje stabilní proces stříhání až do úplného odbroušení a výrazně zvyšuje životnost střížnice. Způsob řešení střížného otvoru s fazetkou je znázorněn na obr. 28a,c. Výška fazetky a úhel odlehčení se určí z tab. 3.13.

Při konstrukci nástroje musí být rozlišeno, zda se jedná o děrování (požadovaný rozměr otvoru) nebo vystřihování (požadovaný rozměr na obvodu součásti). Při děrování je rozhodující rozměr střížníku a rozměry střížnice jsou tomu přizpůsobeny. Při stříhání obvodu součásti je směrodatný rozměr střížnice a přizpůsobeny jsou rozměry střížníku. Způsob stanovení rozměrů střížníku a střížnice uvádí tab. 3.14.

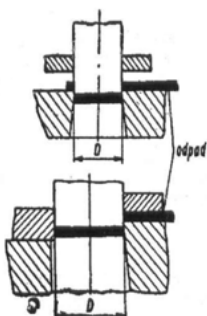
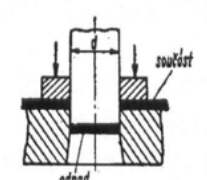


Obr. 28 Tvary střížnic [2]

Tab. 3.13 Výška fazetky a úhel odlehčení [2]

Tloušťka stříhaného materiálu s [mm]	<0,5	0,5 až 5	5,1 až 10
Výška fazetky h_f [mm]	3 až 5	5,1 až 10	10,1 až 15
Úhel γ [°]	3°	4°	5°

Tab. 3.14 Vzorce pro stanovení rozměrů střížníků a střížnic [3]

Schéma operace	Způsob předepsání tolerance výstřížku (otvoru)	Základní nástroj	Vzorce k stanovení rozměrů pracovních částí stříhadel	
			s přídavkem na opotřebení $P_0 = 0,8P_u$	s přídavkem na opotřebení $P_0 = P_u$
	$D - U_s$	střížnice	$D_s = (D - 0,8U_h)^{+p_s}$	$D_s = (D - U_s)^{+p_s}$
	$D - \frac{U_h}{2} - \frac{U_s}{2}$		$D_s = (D - 0,2U_h - 0,8U_s)^{+p_s}$	$D_s = (D - U_s)^{+p_s}$
	$D + \frac{U_h}{2} + \frac{U_s}{2}$		$D_s = (D + 0,2U_h + 0,8U_s)^{+p_s}$	$D_s = (D + U_s)^{+p_s}$
	$D + \frac{U_h}{2} - \frac{U_s}{2}$		$D_s = (D + 0,2U_h - 0,8U_s)^{+p_s}$	$D_s = (D - U_s)^{+p_s}$
	$D \pm U$		$D_s = D^{+p}$	$D_s = D^{+p_s}$
	$d + U_h$	střížník	$d_k = (d + 0,8U_h)_{-p_k}$	$d_k = (d + U_h)_{-p_k}$
	$d + \frac{U_h}{2} - \frac{U_s}{2}$		$d_k = d - 0,8U_s + 0,8U_h)_{-p_k}$	$d_k = (d + U_h)_{-p_k}$
	$d \pm U$		$d_k = d_{-p_k}$	$d_k = d_{-p_k}$

 D_s – rozměr střížnice D – rozměr výstřížku U_s – dolní úchylka p_k – přídavek na zhotovení střížníku d_k – rozměr střížníku P_u – tolerance výstřížku p_s – přídavek na zhotovení střížnice d – rozměr otvoru U_h – horní úchylka P_0 – přídavek na opotřebení

3.4.2 Konstrukční řešení ohýbacích částí nástrojů [3] [8] [17]

Ohýbání se provádí pomocí ohýbadel. Jejich hlavními pracovními částmi jsou ohybník a ohybnice. Ohybník je umístěn v pohyblivé části nástroje, vedený s vůlí proti ohybniči, upevněné v nepohyblivé části nástroje. Správné vedení a vzájemná poloha ohybníku vůči ohybniči může být zajištěna pomocí sloupkového vedení, které však není určeno k zachycení bočních posuvových sil. Ty musí být vyrovnány vhodným řešením konstrukce nástroje s ohledem na ohýbanou součást. Pracovní části ohýbadel jsou často konstruované jako součást sdružených nástrojů společně se stříhadly.

Šířka ohybníku i ohybnice musí být stejná jako ohýbaná součást nebo ji může přesahovat. Plocha ohýbací hrany se tepelně zpracovává na tvrdost zajišťující její dlouhou trvanlivost a je leštěna pro snížení nežádoucího tření v místě styku

s ohýbanou součástí. Poloměr zaoblení ohybníku r_p je stejný s požadovaným poloměrem ohýbané součásti. Rozmezí velikosti poloměru ohýbací hrany ohybnice r_m se určuje vztahem 3.39 a v tab. 3.15 jsou uvedeny doporučené hodnoty poloměru ohýbací hrany ohybnice r_m a délky ohybnice l_o . Tabulku doplňuje obr. 27.

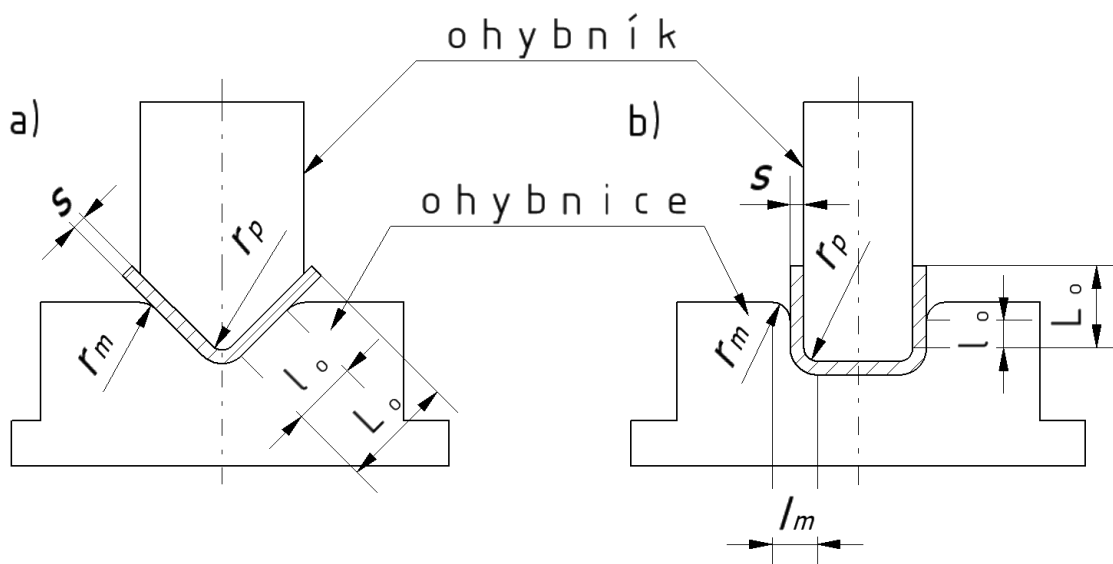
- Výpočtový vztah pro určení velikosti poloměru zaoblení ohybnice [17]

$$r_m = (2 \text{ až } 6) \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (3.39)$$

r_m – poloměr zaoblení pevné čelisti [mm]

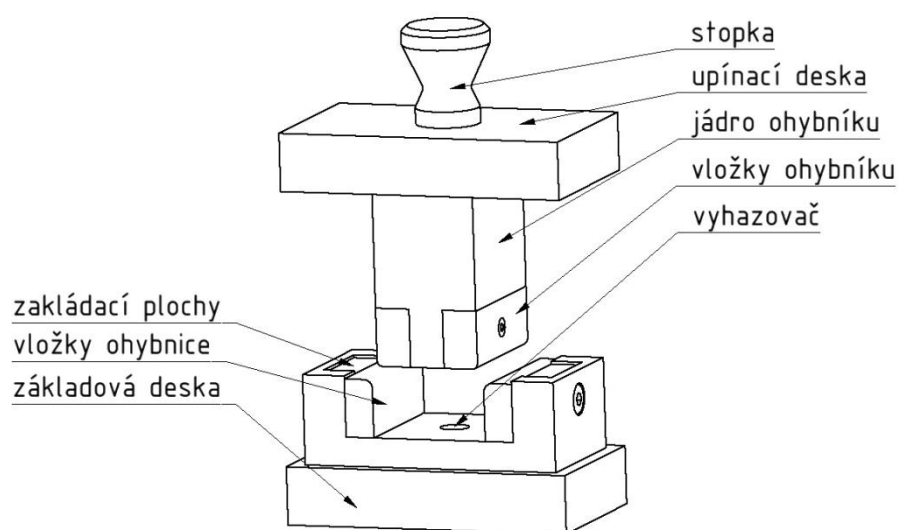
Tab. 3.15 Doporučené hodnoty zaoblení ohybnice r_m a délky ohybnice l_o [17]

Délka ramene L_o [mm]	Tloušťka plechu [mm]							
	do 0,5		0,5 až 2		2 až 4		4 až 7	
	r_m [mm]	l_o [mm]	r_m [mm]	l_o [mm]	r_m [mm]	l_o [mm]	r_m [mm]	l_o [mm]
10	3	6	3	10	4	10	-	-
20	3	8	4	12	5	15	8	20
35	4	12	5	15	6	20	8	25
50	5	15	6	20	8	25	10	30
75	6	20	8	25	10	30	12	35
100	-	-	10	30	12	35	15	40
150	-	-	12	35	15	40	20	50
200	-	-	15	45	20	55	25	65



Obr. 29 Pracovní části ohýbacího nástroje [17]

Pro úsporu nástrojového materiálu nebo pro rychlou výměnu může být ohýbací hrana ohybníku i ohybnice umístěna formou vložky na jádro vyrobené z materiálu nižší jakosti. Poloha ohýbací vložky je dána vhodným upínacím tvarem, který zachycuje působící síly. Příklad jednoduchého ohýbacího nástroje s ohýbacími hranami tvořených vložkami udává obr. 30.



Obr. 30 Ohýbací nástroj s vložkovým ohybníkem a ohybnicí

Vůle mezi pohyblivou a pevnou čelistí

Pro správnou funkci ohýbacího nástroje a k dosažení výlisku s požadovanými rozměry se musí určit velikost vůle a rozměry pracovních částí.

Při ohýbání do tvaru V je vůle mezi ohybníkem a ohybnicí dána tloušťkou plechu a její velikost se nastavuje seřízením lisu. Při ohýbání do U vůle závisí na tloušťce materiálu, jeho výrobní toleranci a délce ramene ohýbané součásti. Velikost vůle se určí pomocí vztahu 3.40, který zohledňuje i vliv tření součásti o ohýbací hranu ohybnice v závislosti na délce ramene. Součinitel tření je uveden v tab. 3.16.

- Výpočtový vztah pro určení vůle mezi ohybníkem a ohybnicí [17]

$$v_n = (s \div s_{max}) + f \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (3.40)$$

v_n – vůle mezi ohybníkem a ohybnicí [mm]

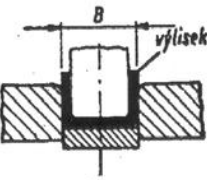
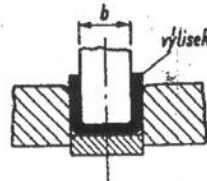
f –součinitel vlivu tření dle tab. 3.16 [-]

Tab. 3.16 Hodnoty součinitele vlivu tření [17]

Délka ramene L_o [mm]	Tloušťka plechu [mm]			
	do 0,5	0,5 až 2	2 až 4	4 až 7
	f [-]			
10	0,1	0,1	0,08	-
20	0,1	0,1	0,08	0,06
35	0,15	0,1	0,08	0,06
50	0,2	0,15	0,1	0,08
75	0,2	0,15	0,1	0,1
100	-	0,15	0,1	0,1
150	-	0,2	0,15	0,1
200	-	0,2	0,15	0,015

Funkční části ohýbacích nástrojů jsou vystaveny opotřebení, a proto se vyrábí s přídávky, které prodlužují jejich životnost. Pevné čelisti musí odolávat většímu opotřebení než čelisti pohyblivé a z toho důvodu je velikost přídavek na pevných čelistech větší. Výpočtové vztahy pro určení rozměrů funkčních částí ohýbadel jsou uvedeny v tab. 3.17.

Tab. 3.17 Vzorce pro stanovení pracovních částí ohýbadel [3]

Schéma operace	Způsob předepsání tolerance výlisku	Základní nástroj	Vzorce k stanovení rozměrů pracovních částí ohýbadel
			s přídavkem na opotřebení $P_o = 0,8P_u$
	$B - U_s$	Pevná čelist	$B_{\bar{c}} = (B - 0,8U_s)^{+p_{\bar{c}}}$
	$B - U_h$ $- U_s$		$B_{\bar{c}} = (B - 0,2U_h - 0,8U_s)^{+p_{\bar{c}}}$
	$B + U_h$ $+ U_s$		$B_{\bar{c}} = (B + 0,2U_h + 0,8U_s)^{+p_{\bar{c}}}$
	$B + U_h$ $- U_s$		$B_{\bar{c}} = (B + 0,2U_h - 0,8U_s)^{+p_{\bar{c}}}$
	$B \pm U$		$B_{\bar{c}} = B^{+p_{\bar{c}}}$
			$P_o = 0,2P_u$
	$b + U_h$	Pohyblivá čelist	$b_{\bar{c}} = (b + 0,2U_h)^{-p_{\bar{c}}}$
	$b + U_h$ $+ U_s$		$b_{\bar{c}} = (b + 0,2U_h + 0,8U_s)^{-p_{\bar{c}}}$
	$b + U_h$ $- U_s$		$b_{\bar{c}} = (b + 0,2U_h - 0,8U_s)^{-p_{\bar{c}}}$
	$b \pm U$		$b_{\bar{c}} = b^{-p_{\bar{c}}}$

B – vnější rozměr výlisku
 U_s – dolní úchylka výlisku

b – vnitřní rozměr výlisku
 $p_{\bar{c}}$ – úchylka na zhotovení čelisti

U_h – horní úchylka výlisku

3.5 Materiály pro lisovací nástroje [1] [17] [23]

Při lisování v nástrojích dochází k nestejnoměrnému zatěžování jednotlivých součástí, které jsou vystaveny různým vlivům opotřebení. Cílem uplatnění odlišných materiálů je dosažení optimálního poměru mezi cenou nástroje a počtem součástí, které se nástrojem vyrobí.

Pro zhotovení nástrojů se nejčastěji používají materiály:

- konstrukční oceli neušlechtilé a ušlechtilé,
- litiny,
- nástrojové oceli,
- slinuté karbidy,
- ostatní materiály.

Konstrukční oceli

Neušlechtilé konstrukční oceli se využívají převážně pro výrobu základových nebo upínacích desek, stopek a součástí, na které nepůsobí lokální zatížení a nejsou na ně kladeny zvláštní požadavky. Proto se zpravidla tepelně nezpracovávají. Výjimkou může být žihání pro snížení vnitřního napětí po svařování.

Konstrukční oceli ušlechtilé se vyznačují větší čistotou a dokonalejším hutnickým zpracováním, což zajišťuje rovnoměrné chemické složení a stabilní vlastnosti. Tyto oceli se používají tepelně a chemicko – tepelně zpracované kalením, zušlechtováním, cementováním nebo nitridováním. Přehled konstrukčních ocelí a oblasti použití je uveden v tab. 3.18.

Tab. 3.18 Konstrukční oceli používané při výrobě nástrojů [1]

Ocel		Vhodnost použití	Tepelné zpracování	Tvrdość [HRC]
Typ	Označení			
Neušlechtilé	11 107, 11 110	Na drobné součásti nástrojů		
	11 340, 11 370	Pro méně namáhané součásti a opěrné desky		
	11 373, 11 375, 11 353, 11 423, 11 523	Pro svařování konstrukčních dílů nástrojů		
	11 500, 11 600	Pro klíny, pera, upínací a kotevní desky, stopky		
Zušlechtovatelné	12 060, 12 061	Stírače a, upínací hlavice	Zušlechtěno	50 až 58
	12 040, 12 090, 13 180, 14 180	Šroubové, talířové a lisové pružiny		43 až 48
	14 260, 15 260	Talířové, vysoce namáhané pružinové součásti		45 až 46
Cementační	12 010, 12 020	Součásti vodícího mechanismu, sloupky, pouzdra	Cementováno	60 až 62
	14 120, 14 220	Součásti s velmi tvrdou cementační vrstvou		61 až 63

Litiny

Litiny se uplatní zejména pro méně namáhané součásti velkých nástrojů. Nahrazením oceli litinou lze dosáhnout úspor na hmotnosti a snížením počtu operací třískového obrábění.

Pro součásti, které nejsou namáhané velkým tahovým nebo ohybovým napětím se používá šedá litina. S výhodou se používá pro kluzné části, kdy grafít ve struktuře litiny slouží jako mazivo.

Očkovanou a tvárnou litinu je možné v případě potřeby tepelně zpracovat pro dosažení větší pevnosti a houževnatosti. Mechanické vlastnosti litin se tepelným zpracováním cíleně mění k dosažení různých kombinací vlastností jako důsledek strukturálních změn. Tyto litiny se používají na základové desky, vodící pouzdra, stírače a jiné součásti velkých rozměrů.

Nástrojové oceli

Nástrojové oceli jsou slitinou železa a dalších prvků, které ovlivňují prokalitelnost, tvorbu karbidů, zvyšují odolnost proti opotřebení a zjemňují zrna. Pro výrobu pracovních částí tvářecích nástrojů se používají nástrojové oceli:

- nelegované uhlíkové,
- středně legované,
- vysoce legované,
- oceli k cementování a nitridování,

Pro výrobu funkčních částí nástrojů se používá nejčastěji nástrojových ocelí chromových, méně manganových nebo uhlíkových. V některých případech mohou být využity rychlořezné nástrojové oceli. Přehled nástrojových ocelí používaných pro pracovní části nástrojů s je uveden v tab. 3.19.

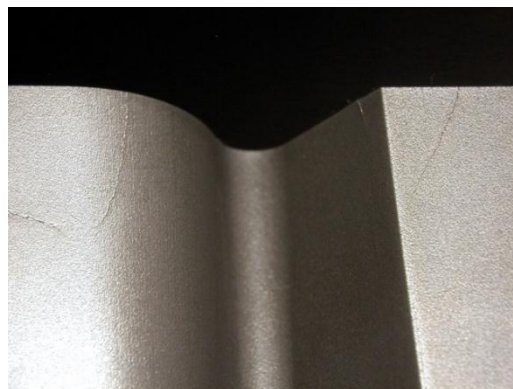
Tab. 3.19 Přehled nástrojových ocelí pro různé typy nástrojů [1]

Ocel			Vhodnost použití
Skupina	Typ oceli	Označení	
A	ledeburitická subledeburitická	19 436, 19 437, 19 438, 19 571, 19 572, 19 581	Na stříhadla s malým nárokem na houževnatost a dobrými střižnými podmínkami
B	nízkovegovaná	19 312, 19 713, 19 422	Vyznačují dobrou rozměrovou stálostí, vhodné na střižníky
C	pro velké tlaky	19 655, 19 614, 19 662	Součásti vystavené velkým silám
D	odolné proti rázu	19 356, 19 421	Součásti zatížené rázem
E	uhlíkové oceli	19 191, 19 132, 19 152, 19 192, 19 221, 19 222	Pro málo namáhaná stříhadla a střižníky
F	odolné proti rázu	19 732, 19 733, 19 452, 19 740	Pro součásti vystavené velkým rázům, namáhání v ohybu a tlaku

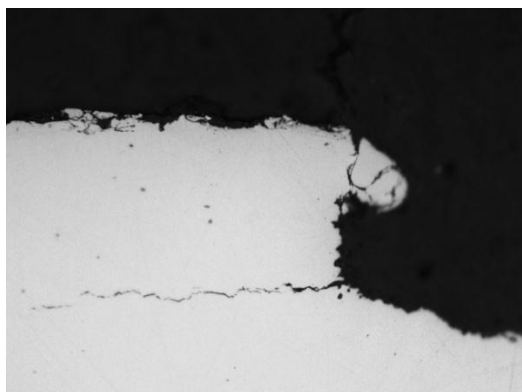
Uvedených mechanických vlastností nástrojových ocelí se dosáhne tepelným zpracováním a při jeho provádění musí být dodrženy postupy dané normami nebo výrobcem. Při nedodržení dochází k nevratnému znehodnocení nástrojové oceli. Příklad chybného popouštění a vznik napěťových trhlin je uveden na obr. 31.



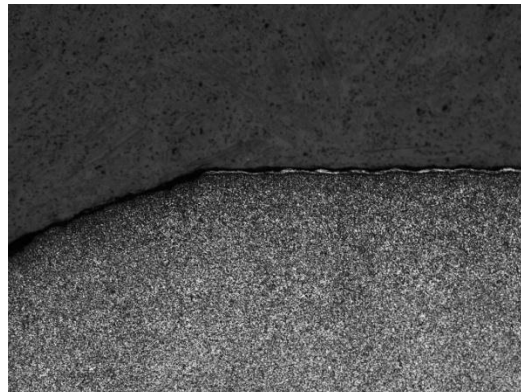
Odloupnutý povrch



Viditelné trhliny



Detail napěťové trhlin 500x



Struktura v okolí vady 100x

Obr. 31 Vady nástrojové oceli 19 312 po tepelném zpracování

Na trh však vstupují stále nové progresivní nástrojové oceli, které daleko převyšují technologické vlastnosti nástrojových ocelí vyráběných klasickou cestou. Jsou to např. nástrojové oceli vyráběné z prášků. Jejich výrobci je označují zkratkami CPM nebo ASP společně s obchodním názvem. Pro střižné a ohýbací nástroje se používají např. oceli CPM REX M4 nebo ASP US2000 [23].

3.6 Stroje [3] [8] [12]

Pro volbu vhodného tvářecího stroje musí být zohledněny základní činitele jako:

- požadovaný počet kusů součásti,
- rozměry součásti,
- tvářecí síla.

Je třeba přihlídnout také k řešení lisovacího nástroje, kdy do hlavních činitelů mohou být zařazeny např. velikost otvoru ve stole, počet zdvihů lisu nebo složení strojního parku, který má výrobce k dispozici. Počet kusů nejčastěji rozhoduje o volbě

použitého nástroje a následně i typu tvářecího stroje. Pro technologické operace stříhání a ohýbání jsou vhodné výstředníkové, klikové a hydraulické lisy.

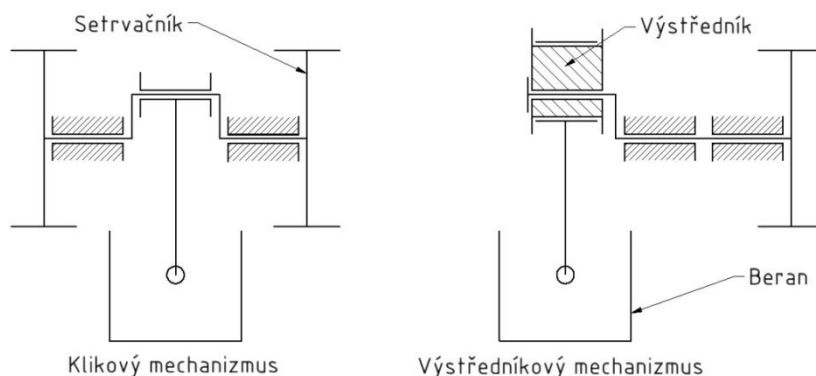
Výstředníkové lisy

Výstředníkové lisy, stejně jako lisy klikové, patří do skupiny mechanických lisů. Pohon lisu obstarává elektromotor, který otáčí setrvačником pomocí řemenového nebo řetězového převodu. Pohyb setrvačnicku se přenáší na hřídel přes rozpínatelné spojky. Na té je umístěn výstředníkový mechanismus propojený pákou s beranem lisu. Pootočením pouzdra výstředníku se seřizuje výška zdvihu beranu. Stojan lisu může být otevřený typu C nebo uzavřený typu O. Otevřený stojan umožňuje lepší přístup do pracovního prostoru, uzavřený stojan vykazuje menší pružné deformace při zatížení. Stroje se vyznačují vysokou výrobností a spolehlivostí.

Nevýhodný je průběh síly v závislosti na dráze beranu. Tvářecí síla vyvozená klikovým mechanismem dosahuje maximálních hodnot těsně před dolní úvratí beranu lisu. To může znamenat značné omezení v případě potřeby tvářet velkou silou na delší dráze. Nevýhodou těchto lisů je také průběh rychlosti beranu, která při pohybu do dolní úvratě výrazně klesá.

Klikové lisy

Funkce klikových lisů je obdobná jako výstředníkových. Nemají však možnost seřízení výšky zdvihu beranu, kterou udává výstřednost náboje klikového kola. Velikost sevření může být u některých klikových lisů nastavitelná zařízením se samostatným elektromotorem nebo ručním přestavením ozubeného soukolí. Princip funkce výstředníkového a klikového lisu je patrný z obr. 32.



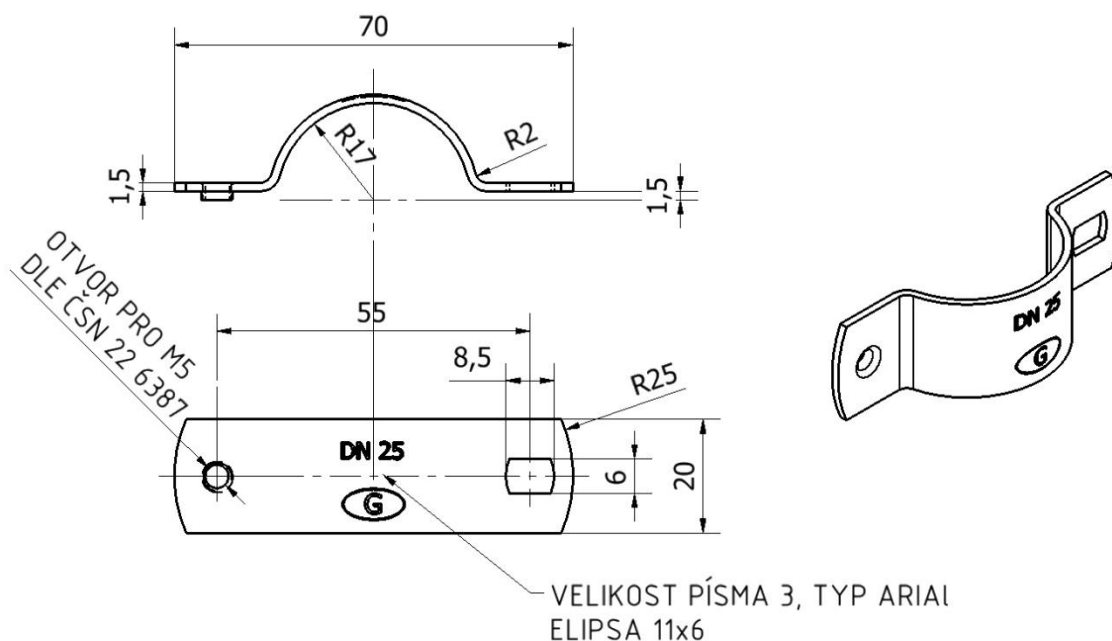
Obr. 32 Schéma výstředníkového a klikového lisu [12]

Hydraulické lisy

Beran hydraulických lisů uvádí do pohybu tlak kapaliny působící na píst umístěný v hydraulickém válci. Výhodou oproti mechanickým lisům je možnost plynulého nastavení rychlosti tváření a libovolné výšky zdvihu. Beran lisu se pohybuje konstantní rychlostí s maximální silou vyvozenou v celé dráze pohybu. Nevýhodou je nízká účinnost stroje. Také výrobnost nedosahuje hodnot mechanických lisů. Hydraulické univerzální lisy se používají převážně pro lisování součástí velkých rozměrů a jsou vhodné pro těžké stříhací a ohýbací práce.

4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

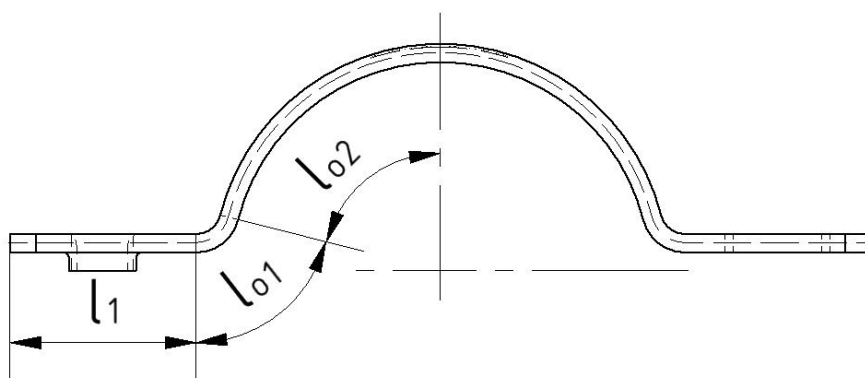
Zhodnocením možných variant výroby součásti byla zvolena technologie stříhání a ohýbání v postupovém sdruženém nástroji.



Obr. 33 Rozměry vyráběné součásti

4.1 Rozvinutý tvar

Vzhledem k obtížnosti výpočtu délek jednotlivých úseků se použije pro tento účel počítačové podpory a programu Autodesk Inventor. Zejména k určení úhlů a délek celkového zakřivení, které nevyplývá z nákresu součásti uvedeného na obr. 33. Při určení velikosti rozvinutého tvaru bude využito symetrického tvaru součásti (obr. 34). Tím se výpočet usnadní.



Obr. 34 Jednotlivé úseky pro určení délky rozvinutého tvaru

Určení délky rozvinutého tvaru dle kap. 3.2.1

Výpočet délky l_1

$$l_1 = \frac{70}{2} - 19,88 = 15,12 \text{ mm}$$

Výpočet délky oblouku l_{o1}

Pro určení délky oblouku musí být určen součinitel polohy neutrální osy. Hodnota x je odečtena z tab. 3.9.

$$\frac{R}{s} = \frac{2}{1,5} = 1,33 \Rightarrow x = 0,42$$

$$l_{o1} = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 75,88}{180} \cdot (2 + 0,42 \cdot 1,5) = 3,47 \text{ mm}$$

Výpočet délky l_{o2}

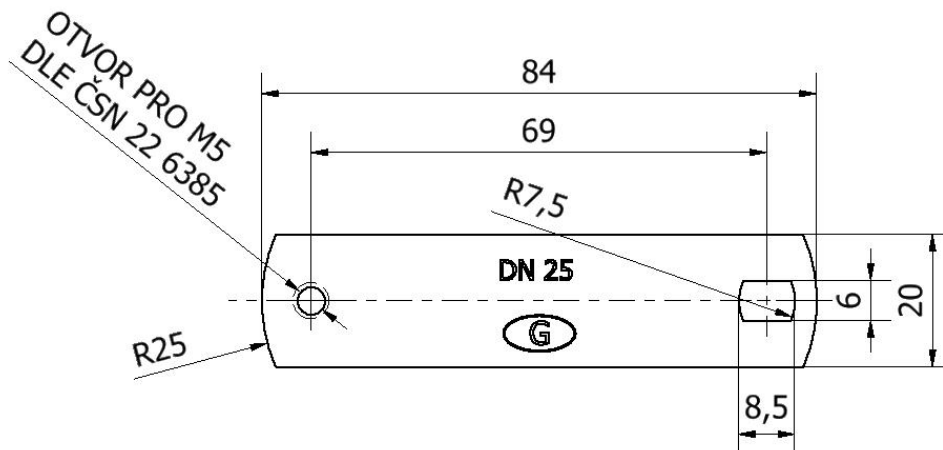
Postup výpočtu lze provést stejným způsobem jako pro l_{o2} . Nejprve je stanoven součinitel posunutí dle tab. 3.9.

$$\frac{R}{s} = \frac{17}{1,5} = 11,33 \Rightarrow x = 0,486$$

$$l_{o2} = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 75,88}{180} \cdot (17 + 0,486 \cdot 1,5) = 23,43 \text{ mm}$$

Výpočet celkové délky l

$$l = (l_1 + l_{o1} + l_{o2}) \cdot 2 = (15,12 + 3,47 + 23,43) \cdot 2 = 84,04 \text{ mm}$$



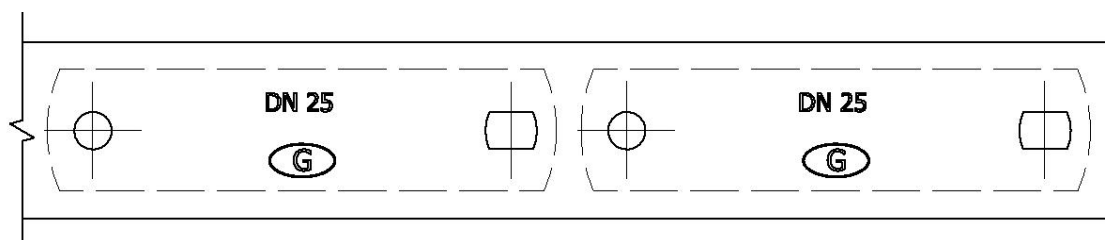
Obr. 35 Rozměry rozvinutého tvaru

4.2 Uspořádání výlisků v nástřihovém plánu

Na poloze výlisku v nástřihovém plánu závisí spotřeba materiálu. V případě obdélníkového tvaru se nabízí podélné nebo příčné umístění k směru posuvu pásu plechu.

a) Podélné umístění

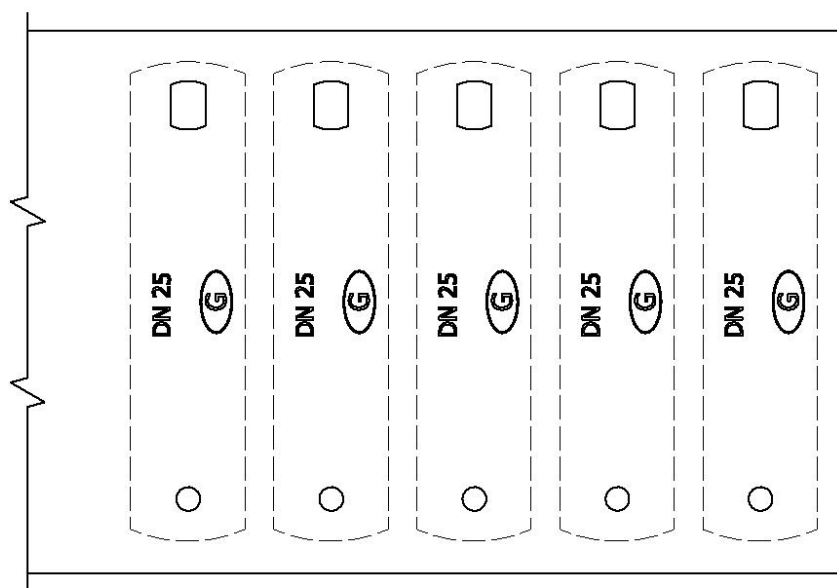
Podélné umístění výlisku na pásu plechu se projeví dlouhým krokem. Na využitelnost materiálu nemusí mít tento fakt zásadní význam. Zkrátí se však interval pro jeho doplňování do odvíjecího zařízení v případě svitku nebo časté zakládání jednotlivých pásů v případě použití polotovaru z tabule plechu.



Obr. 36 Podélné umístění výstřižku

b) Příčné umístění

Tato varianta umístění vytváří širší možnosti pro rozmístění pracovních částí v lisovacím nástroji, což může výrazně ovlivnit součinitel využití materiálu. V případě výroby součásti z tabule plechu tato varianta výrazně ušetří odpad z nezpracovaného zbytku, oproti podélnému umístění, kdy bude pro výrobu stejného množství výlisků nutné zpracovat více než trojnásobné množství pásů. Příčné umístění výlisku na pásu plechu znázorňuje obr. 37.



Obr. 37 Příčné umístění výstřižku

c) Vyhodnocení a výběr umístění

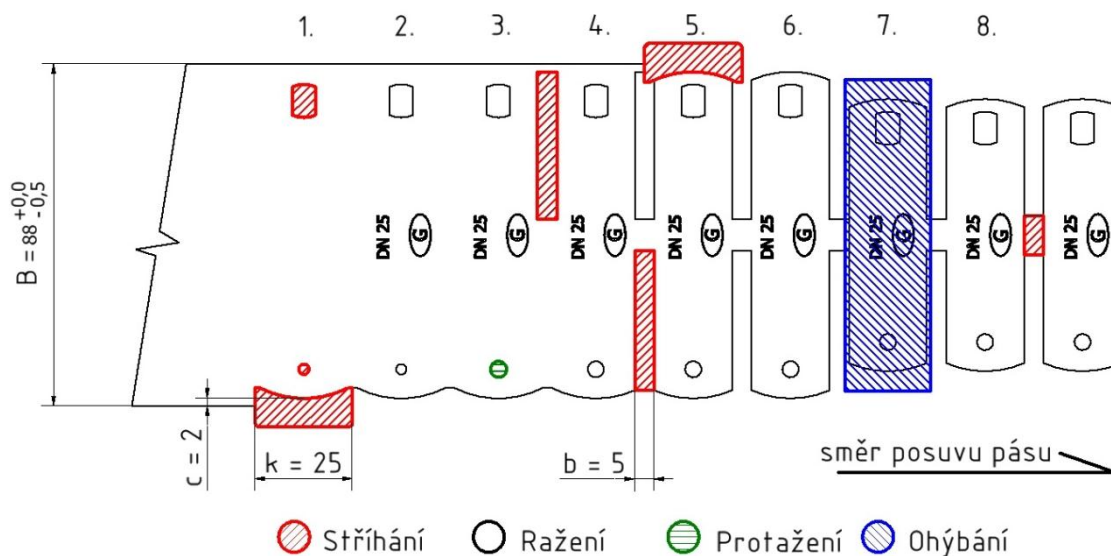
Na základě zhodnocení kladů a záporů uvedených v popisu jednotlivých variant se nejlépe jeví příčné umístění výlisku v nástřihovém plánu. Proto bude toto umístění použito při zpracování výrobního postupu a dalších výpočtů.

4.3 Návrh výrobního postupu [13]

Rozvržení technologických úkonů v nástřihovém plánu ovlivňuje technologičnost součásti a požadavky, které jsou na ni kladené. Po provedení volby polohy výlisku musí být rozvrženy jednotlivé úkony tak, aby postupné zpracování pásu bylo efektivní a bez negativních vlivů na přesnost výroby.

Součást obsahuje technologické prvky ražení písma a jeden z otvorů určený pro metrický závit je upraven protahováním. V tomto projektu budou tyto prvky zohledněny jen v objemu nutném pro návrh výrobního postupu a provedení korektních technologických a konstrukčních výpočtů.

Výroba součásti probíhá v průběhu osmi kroků. Grafické zobrazení návrhu výrobního postupu uvádí obr. 38.



Obr. 38 Návrh výrobního postupu

Při prvním kroku se určí jeho délka bočním ostřížením pásu společně se zhotovením oblouku. Ve stejný okamžik jsou vystřiženy dva otvory.

Druhý krok je vyčleněn pro ražení písma. Při hodnocení součásti v kap. 2 bylo uvedeno, že sestavu tvoří dvě součásti, kdy pouze jedna z nich je značena. Pro tento účel může být razník z nástroje vyjmut. Ražení je proto provedeno blíže těžiště, aby jeho absence neovlivnila vyváženou stabilitu nástroje.

Ve třetím kroku je protažen otvor pro metrický závit a vystřiženo uvolnění pro ohyb součásti stejně jako ve čtvrtém kroku. Otvory pro uvolnění jsou záměrně umístěny asymetricky, což zlepší tuhost a přímost pásu.

Pátý krok obsahuje stejný tvar jako první. Posunutí bočního ostřížení do zadní čisti nástřihového plánu snižuje podíl odpadu z nedostříhaného konce pásu. Významné to bude zejména v případě zpracovávání pásů z tabule plechu.

Šestý krok je technologický pro přechod ze střížné části plánu do ohýbací.

Sedmý krok slouží k provedení ohybu součásti do požadovaného tvaru. V ohybni se musí zhotovit odlehčení, aby nedošlo k deformaci lemu protaženého otvoru.

V osmém kroku končí výrobní proces rozstřížením součásti, která po skluzu odpadne do přepravní bedny.

Navrhnutý výrobní postup zohledňuje návaznosti na konstrukci nástroje, jednoduchou manipulaci při zakládání, rychlé a přesné polohování pásu s možností zpracovávat svitek i pás z tabule plechu.

4.3.1 Rozměry nástřihového plánu

Velikost můstku je stanovena dle tab. 3.7 a šířka okraje pro ostříhování z tab. 3.8. Uvolnění pro ohnutí součásti vytváří střížník šířky 5 mm. Rozměry jsou uvedeny na obr. 38.

Velikost můstku a ostříženého okraje

$$b = 5 \text{ mm}, c = 2 \text{ mm}$$

Délka kroku

$$k = b + l = 5 + 20 = 25 \text{ mm}$$

Šířka pásu

$$B = 2 \cdot c + h_s = 2 \cdot 2 + 84 = 88 \text{ mm}$$

4.3.2 Volba polotovaru

Polotovarem pro výrobu součásti může být pás odvíjený ze svitku nebo předem ustřížený pruh z tabule plechu. Ke zpracování svitku se musí použít přídatné zařízení pro odvíjení, rovnání a podávání. Předpokládá se, že lisovna má takové zařízení k dispozici.

a) *Svitek*

Hmotnost svitku

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{D_{sv} - d_{sv}}{4} \cdot B \cdot \rho = \pi \cdot \frac{1200 - 400}{4} \cdot 88 \cdot 7,85 \cdot 10^5 = 434 \text{ kg}$$

m_{sv} – hmotnost svitku [kg]

D_{sv} – vnější rozměr svitku [mm]

d_{sv} – vnitřní rozměr svitku [mm]

Délka svitku

$$L = \frac{m_{sv}}{B \cdot s \cdot \rho} = \frac{434}{88 \cdot 1,5 \cdot 7,85 \cdot 10^5} = 418838 \text{ mm}$$

Počet výstřížků ze svitku

$$n_v = \frac{L}{k} = \frac{418838}{25} = 16753 \text{ ks}$$

Počet svitků

$$n_{sv} = \frac{Q}{n_v} = \frac{360000}{16753} = 21,49 \text{ ks}$$

Zaokrouhlením výsledku na nejbližší vyšší celé číslo vyplývá, že k výrobě dávky bude zapotřebí 22 ks svitků.

Výpočet využití materiálu svitku

$$\mu_p = \frac{S_v \cdot n_b}{S_b} \cdot 100 = \frac{1573 \cdot 360000}{22 \cdot 418838 \cdot 88} \cdot 100 = 69,9\%$$

Tabule plechu

Výpočtové vztahy jsou uvedené v kap. 3.1.5. Pás není spotřebovaný po celé délce a jeho zbytek činí 100 mm. To platí jak u podélného, tak u příčného pásu.

b) Výpočet pro podélně stříhané pásy

Počet pásů z tabule plechu

$$p_t = \frac{B_t}{B} = \frac{1500}{88} = 17,05 \text{ ks}$$

Zaokrouhlením na nejbližší nižší celé číslo je dán počet pásů 17 ks.

Počet výstřížků z tabule plechu

$$n_c = n_v \cdot p_t = \frac{L}{k} \cdot \frac{B_t}{B} = \frac{3000 - 100}{25} \cdot \frac{1500}{88} = 116 \cdot 17 = 1972 \text{ ks}$$

Výpočet využití materiálu v případě podélně stříhané tabule plechu

$$\mu = \frac{S_v \cdot n_c}{S_t} \cdot 100 = \frac{1573 \cdot 1972}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 68,9 \%$$

c) Výpočet pro příčně stříhané pásy

Počet pásů z tabule plechu

$$p_t = \frac{B_t}{B} = \frac{3000}{88} = 34,09 \text{ ks}$$

Zaokrouhlením na nejbližší nižší celé číslo je dán počet pásů 34 ks.

Počet výstřížků z tabule plechu

$$n_c = n_v \cdot p_t = \frac{L}{k} \cdot \frac{B_t}{B} = \frac{1500 - 100}{25} \cdot \frac{3000}{88} = 56 \cdot 34 = 1904 \text{ ks}$$

Výpočet využití materiálu v případě příčně stříhané tabule plechu

$$\mu = \frac{S_v \cdot n_c}{S_t} \cdot 100 = \frac{1573 \cdot 1904}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 66,5 \%$$

d) Vyhodnocení využití materiálu

Ze souhrnu výsledků uvedených v tab. 4.1 vyplývá, že nejefektivnější bude výroba ze svitek. Tento polotovár bude uvažován v následujících výpočtech.

Tab. 4.1 Vyhodnocení využitelnosti materiálu různých polotovarů

Polotovár	Využití materiálu [%]	Pořadí výhodnosti [- -]
Svitek	69,9	1.
Podélně stříhaná tabule plechu	68,6	2.
Příčně stříhaná tabule plechu	66,5	3.

4.4 Technologické a kontrolní výpočty střížné části nástroje

Při průchodu pásu plechu postupovým sdruženým nástrojem jsou nejprve provedeny operace stříhání a poté ohýbání s oddělením součásti v posledním kroku. Jako první jsou provedeny výpočty střížné části nástroje.

a) Stanovení střížné vůle

Pro určení střížné vůle se použije vzorců 3.1 a 3.2, střížný odpor pak vychází ze vzorce 3.4.

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 437,5 = 350 \text{ MPa}$$

$$z = 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,32 \cdot 0,01 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{350} = 0,09 \text{ mm}$$

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,09 = 0,18 \text{ mm}$$

Výpočet celkové střížné síly a práce

Celková střížná síla F_{sc} je součtem všech střížných sil F_s (1.5), stíracích sil F_u (1.6) a sil potřebných k vysunutí výstřížku ze střížnice F_v (1.7).

b) Střížná síla

$$F_s = n \cdot l_k \cdot s \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 335,48 \cdot 1,5 \cdot 350 = 211352 \text{ N}$$

Obvody jednotlivých střížníků jsou určeny pomocí programu Autodesk Inventor.

$$O_1 = 26,84 \text{ mm}$$

$$F_{s1} = 1,2 \cdot 26,84 \cdot 1,5 \cdot 350 = 16909,2 \text{ N}$$

$$O_2 = 8,48 \text{ mm}$$

$$F_{s2} = 1,2 \cdot 8,48 \cdot 1,5 \cdot 350 = 5189,8 \text{ N}$$

$$2 \cdot O_3 = 2 \cdot 56,08 \text{ mm}$$

$$F_{s3} = 1,2 \cdot 56,08 \cdot 1,5 \cdot 350 = 35381,5 \text{ N}$$

$$2 \cdot O_4 = 2 \cdot 86 \text{ mm}$$

$$F_{s4} = 1,2 \cdot 86 \cdot 1,5 \cdot 350 = 54205 \text{ N}$$

$$O_5 = 16 \text{ mm}$$

$$F_{s5} = 1,2 \cdot 16 \cdot 1,5 \cdot 350 = 10080 \text{ N}$$

c) Stírací síla

$$F_u = k_{eu} \cdot F_s = 0,1 \cdot 211352,4 = 21135 \text{ N}$$

d) Síla potřebná pro vysunutí výstřížku ze střížnice

$$F_v = k_{ev} \cdot F_s \cdot n_p = 0,05 \cdot 211352,4 \cdot 2 = 21135 \text{ N}$$

e) Celková střížná síla

$$F_{sc} = F_s + F_u + F_v = 211352,4 + 21135,24 + 21135,24 = 253622 \text{ N}$$

f) Střížná práce

Hodnota koeficientu K_1 je určena z tabulky 2 uvedené v příloze 2.

$$A = \frac{F_s \cdot K_1 \cdot s}{1000} = \frac{211352 \cdot 0,5 \cdot 1,5}{1000} = 158,514 \text{ J}$$

Kontrola střížníků na otlačení a vzpěr

g) Kontrola střížníků na otlačení

Pokud napětí přesahuje σ_{dov} , musí se vložit mezi upínací a kotevní desky opěrná vložka. Ověřen je střížník s nejvyšší hodnotou poměru střížné plochy k opěrné ploše. Tomu nejlépe vyhovuje střížník prostřihující oválný otvor pro šroub.

$$\sigma_{dov} \leq 180 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{F_s}{S} = \frac{26,84 \cdot 1,5 \cdot 350}{48,54} = 290,3 \text{ MPa}$$

Protože dochází k překročení σ_{dov} , musí se opěrná vložka použít.

h) Kontrola střižníků na vzpěr

Kontrola se provádí u nejdelšího střižníku s nejmenším průřezem podle výpočtového vztahu 3.11. Z nástřihového plánu (obr. 38) se zdá nejvhodnější střižník, který děruje otvor před protažením. U toho byla kritická hodnota očekávána a proto je střižník osazený a nejužší místo má délku pouze 7 mm. Stejně jako u otláčení bude kontrola provedena u střižníku pro oválný otvor. Jeho průřez se pro tento účel upraví na obdélník a kruhové výseče po stranách nebudou do výpočtu zahrnuty. Střižník bude tedy o tuto odchylku více odolný proti prohnutí při vzpěru.

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}}{n_b \cdot F_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 131,4}{1,75 \cdot 14091}} = 208 \text{ mm}$$

Při konstrukci nástroje nebude délka střižníku z daleka dosahovat kritické hodnoty 208 mm.

i) Stanovení tloušťky střižnice

Střižnice je uvažovaná jako rovinný celek, namáhaná ohybem, kdy tlak působí po celé křivce střižnice rovnoměrně. Tloušťka střižnice musí být taková, aby dovolené napětí σ_{dov} nepřesáhlo hodnotu 350 MPa.

$$h = \sqrt{\frac{2,5 \cdot F_s}{\sigma_{dov}}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 211352}{350}} = 38,85 \text{ mm}$$

Střižnice bude navrhnutá o tloušťce 42 mm z důvodu postupného ztenčování při ostření nástroje.

4.5 Technologické a kontrolní výpočty ohýbací části nástroje

Určení poloměru ohybu a odpružení

a) Minimální poloměr ohybu

Minimální poloměr ohybu R_{min} dle tab. 3.12 pro ocel s mezí pevnosti v tahu 392 až 490 MPa.

$$R_{min} = 2 \text{ mm}$$

Ověření dle vzorce 3.36 pro výpočet R_{min} pomocí koeficientu c_m určeného pomocí tab. 3.11

$$R_{min} = c_m \cdot s = 0,6 \cdot 1,5 = 0,9 \text{ mm}$$

Patrná odlišnost výsledků dle různých zdrojů neovlivní technologičnost součásti, protože v obou případech součást vyhovuje.

b) Maximální poloměr ohybu

Výpočet R_{max} dle vztahu 3.37 uvedeného v kap. 3.2.4.

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left(\frac{2,06 \cdot 10^5}{235} - 1 \right) = 657 \text{ mm}$$

c) Určení velikosti odpružení

Tvar součásti obsahuje dva ohyby o poloměru R2 a jeden R17. Pro určení velikosti odpružení jsou použity vzorce 3.24 pro ohyb V a 3.25 pro U. Součinitel $k_x = 1 - x$, kde x uvádí tab. 3.9. Číselné indexy u symbolů odpovídají počítaným poloměrům ohybů dle obr. 33.

$$\tan \beta_2 = 0,375 \cdot \frac{l_{oh}}{k_x \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,375 \cdot \frac{18}{0,58 \cdot 1,5} \cdot \frac{235}{2,06 \cdot 10^5} = 0,086 \Rightarrow \beta_2 = 0^\circ 30'$$

$$\tan \beta_{17} = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k_x \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{20,8}{0,514 \cdot 1,5} \cdot \frac{235}{2,06 \cdot 10^5} = 0,023 \Rightarrow \beta_2 = 1^\circ 20'$$

$$l_m = r_m + r_p + 1,2 \cdot s = 2 + 17 + 1,2 \cdot 1,5 = 20,8 \text{ mm}$$

d) Výpočet ohýbací síly a práce

Jednostranný ohyb o poloměru R2 bude proveden symetricky po stranách součásti. Proto se síla na ohyb vypočte jako polovina síly potřebné k ohybu U. Pro výpočet síly je vhodný vztah 3.30 a pro určení práce vztah 3.31.

$$F_{ou2} = \frac{(1 + 7 \cdot f) \frac{b_s \cdot s^2 \cdot R_e}{R + s}}{2} = \frac{(1 + 7 \cdot 0,3) \frac{20 \cdot 1,5^2 \cdot 235}{2 + 1,5}}{2} = 4683 \text{ N}$$

$$F_{ou17} = (1 + 7 \cdot f) \frac{b_s \cdot s^2 \cdot R_e}{R + s} = (1 + 7 \cdot 0,3) \frac{20 \cdot 1,5^2 \cdot 235}{17 + 1,5} = 1772 \text{ N}$$

e) Celková síla potřebná k ohybu je součtem všech dílčích sil

Ohýbání bude probíhat s kalibrací. Podle vztahu 3.33 se síla tímto procesem zdvojnásobí.

$$F_o = 2 \cdot F_{ou2} + F_{ou17} = 2 \cdot 4683 + 1772 = 11138 \text{ N}$$

f) *Síla pro kalibraci*

$$F_{ok} = 2 \cdot F_o = 2 \cdot 11138 = 22276 \text{ N}$$

g) *Práce ohýbání*

$$A_{ou} = m_u \cdot \frac{F_{ou} \cdot h_u}{1000} = 0,66 \cdot \frac{11138 \cdot 17}{1000} = 189,35 \text{ J}$$

Síla na ražení a protažení otvoru [5] [8] [17]

Sílu potřebnou k ražení písma uvádí zdroj [12]. Jedná se o experimentální zjištění z praktických zkoušek při výrobě součástí z materiálu s podobnými mechanickými vlastnostmi.

$$F_r = 3840 \text{ N}$$

F_r – síla na ražení písma [N]

– Síla na protažení otvoru [17]

$$F_{po} = 0,7 \cdot s \cdot D \cdot \delta \cdot R_m = 0,7 \cdot 1,5 \cdot 5,7 \cdot 0,52 \cdot 350 = 1090 \text{ N} \quad (4.1)$$

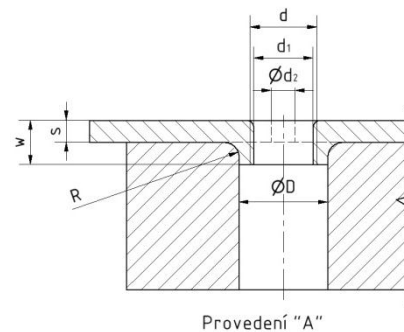
F_{po} – síla na protažení otvoru [N]

D – rozměr otvoru v ohybnici [mm]

δ – poměr velikosti otvorů [-]

$$\delta = \frac{D - d_2}{D} = 0,52 \text{ [-]} \quad (4.2)$$

Příprava otvoru pro závitování vychází z normy ČSN 22 6385. Norma udává směrnice k protahování otvorů pro metrický závit v plechu tlustého 0,5 až 3 mm. Protažení znázorňuje obr. 39.



Obr. 39 Protažení otvoru dle ČSN 22 6385 [5]

h) *Celková síla ohýbací části nástroje*

$$F_{oc} = F_{ok} + F_r + F_{po} = 22276 + 3840 + 1090 = 27206 \text{ N}$$

i) *Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí*

Pro bezporuchovou funkci nástroje se musí stanovit vůle mezi pracovními díly ohýbadla. K tomu poslouží vzorec 3.40. V případě malé vůle dochází ke zvýšení tření mezi ohýbadlem a součásti, což vede ke zvýšení síly k ohybu a negativnímu ovlivnění kvality povrchu ohýbaného výlisku.

$$v_n = (s \div s_{max}) + f \cdot s = 1,5 + 0,08 \cdot 1,5 = 1,62 \text{ mm}$$

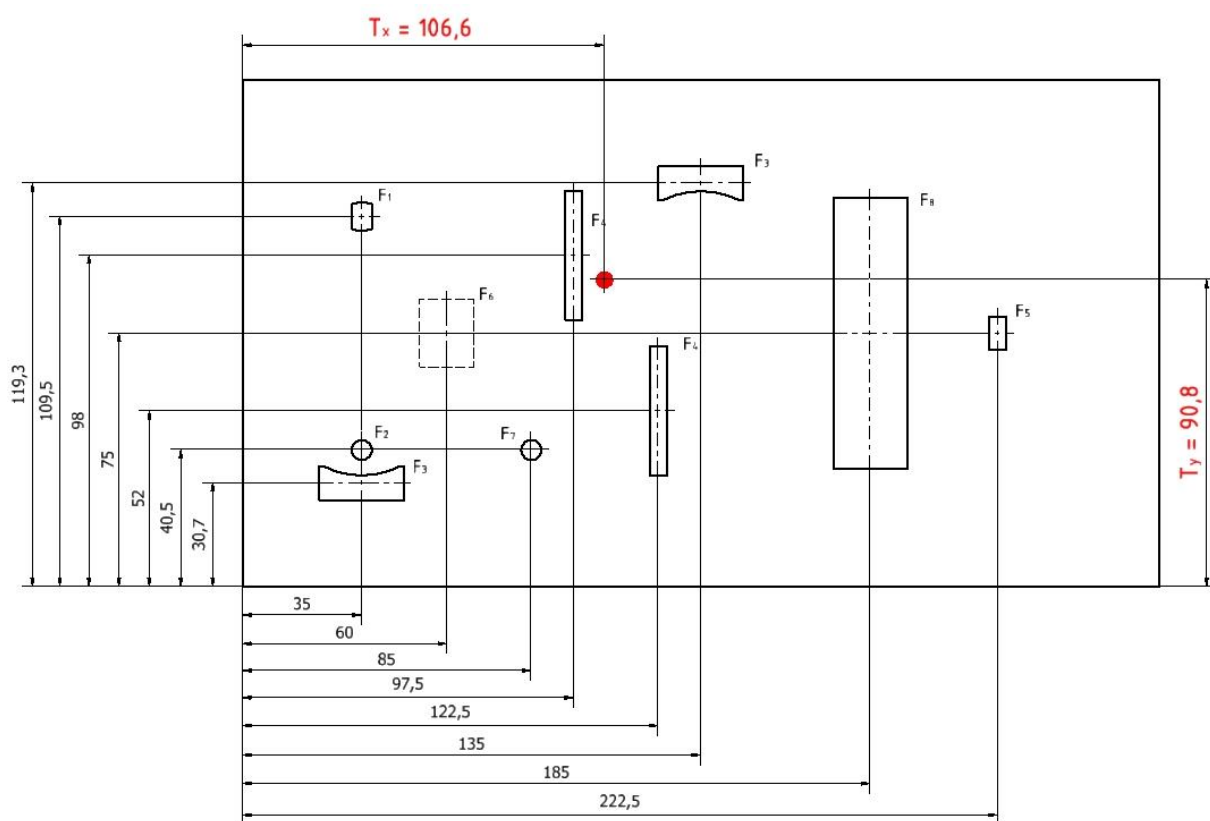
4.6 Poloha stopky

Horní část nástroje je polohována pomocí stopky, jejíž velikost odpovídá velikosti dutiny v beranu lisu.

Aby nástroj nebyl namáhán klopným momentem, musí se určit poloha těžiště sil, kam bude stopka umístěna. Pro výpočet je použit vztah 3.38. Rozmístění jednotlivých zatížení uvádí obr. 39. Výpočet se zjednoduší zanedbáním symetrických sil, které se vzájemně vyruší.

$$T_x = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i} = \frac{35 \cdot (16909 + 5190 + 35381) + 97,5 \cdot 54205 + 122,5 \cdot 54205 + 135 \cdot 35382 + 225 \cdot 10080 + 60 \cdot 3840 + 85 \cdot 1090 + 185 \cdot 22276}{16909,2 + 5189,8 + 2.35381,5 + 2.54205 + 10080 + 3840 + 1090 + 22276} = 106,6 \text{ mm}$$

$$T_y = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i} = \frac{40,5 \cdot (5189,8 + 1090) + 109,5 \cdot 16909,2}{5189,8 + 1090 + 16909,2} = 90,8 \text{ mm}$$



Obr. 39 Poloha těžiště sil

4.7 Volba stroje [22]

Stroj pro lisování součásti musí disponovat dostatečnou silou a velikost pracovního stolu musí umožnit bezpečnou manipulaci při ustavování a upínání nástroje. Celkovou tvářecí sílu F_c vyjádříme součtem dílčích sil působících na tvářenou součást dle vztahu 4.3.

- Výpočet celkové tvářecí síly

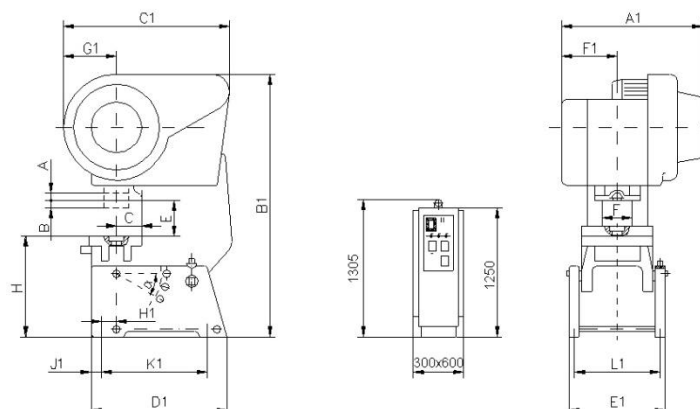
$$F_c = F_{sc} + F_{oc} = 253622 + 27206 = 280828 \text{ N} \cong 281 \text{ kN} \quad (4.3)$$

F_c – celková tvářecí síla [N]

F_{sc} – celková síla stříhání [N]

F_{oc} – celková síla ohýbání [N]

Pro lisování součásti je zvolen mechanický výstředníkový lis LEN 40 C, uvedený na obr. 40, který dodává výrobce TOMA INDUSTRIES s.r.o., dříve známý jako Šmeral Trnava. Základní rozměry uvádí tab. 4.2 a technologické parametry stroje jsou uvedeny v tab. 4.3.



Obr. 40 Náskres lisu LEN 40 C [22]

Tab. 4.2 Rozměry stroje [22]

Parametry a rozměry [mm]	LEN 40 C	Označení
Stavitelnost zdvihu	8 až 95	A
Stavitelnost beranu	60	B
Vyložení	265	C
Sevření	295	E
Průchod	300	F
Upínací plocha stolu	530 x 660	
Upínací plocha beranu	250 x 400	
Základní rozměry lisu [mm]		
	1250	A ₁
	2370	B ₁
	1585	C ₁
Hmotnost lisu [kg]		
Celková hmotnost	4500	

Tab 4.3 Technické údaje [22]

Parametry a rozměry [mm]	LEN 40 C	Označení
Jmenovitá síla lisu	400	kN
Počet zdvihů – trvalý chod	70	$1. \text{ min}^{-1}$
Využitelný počet jednotlivých zdvihů	35	$1. \text{ min}^{-1}$
Maximální tloušťka plechu při trvalém chodu	3,2	mm
Maximální tloušťka plechu při jednotlivém zdvihu	6,4	mm
Výkon motoru	3,7	kW
Elektrické připojení	380/50	V/Hz
Spotřeba vzduchu	0,006	m^3/zdvih

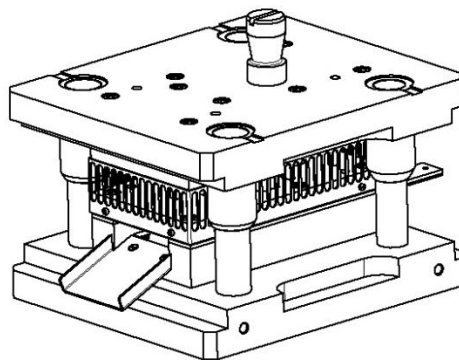
4.8 Popis nástroje

V postupovém sdruženém nástroji (obr. 41) dochází k celkovému zhotovení součásti stříháním a ohýbáním, včetně ražení písma a protažení otvoru pro závit. Pro zvýšení přesnosti vzájemných poloh pracovních částí je použito ocelové stojánky se čtyřmi kluznými sloupky. Délku kroku určuje boční střížník. Pokud to bylo možné, využilo se při konstrukci norem ČSN pro lisovací nástroje nebo z nich byly součásti alespoň odvozeny.

Pracovní části střížnice a ohybnice jsou oddělené, což znamená, že zhotovení těchto součástí nebude tak náročné jako v případě obrábění jednoho kusu oceli. Stálou polohu ohybnice zaručuje její umístění v otvoru střížnice obdélníkového tvaru se zaoblenými rohy. Zaoblením se předejde jinak vysoké koncentraci napětí. Toto řešení také dává možnost jednoduchým způsobem upravit velikost odpružení po výrobě ověřovací série. Otvory ve střížnici mají fazetku vysokou 3 mm, která umožňuje několikanásobné ostření bez negativního vlivu na přesnost výlisku. Aby lem protaženého otvoru nepřekážel posouvání plechu, dochází pomocí odpruženého vyhazovače k jeho vysunutí z otvoru. V následujících krocích lem zapadá do zahlužení a při posuvu pásu se vysouvá skluzem po zkosené hraně. Při stříhání odpad propadá základovou deskou mimo otvor ve stole stroje, a tak musí být nástroj upnutý na podložky. Samotná součást po odstřížení gravitací sjede po skluzu do přepravní bedny.

Střížníky, ohybník, průtažník a razník jsou upevněny k pohyblivé části nástroje převážně pomocí osazení, které zapadá do kotevní desky nebo průchozím kaleným kolíkem. K zamezení vtlačování namáhaných součástí do upínací desky slouží kalená vložka umístěná na horní plochu kotevní desky. Aby nebylo obtížné vyjmout ohybník umístěný v otvoru kotevní desky pro případné seřízení odpružení, není vertikálně fixován pomocí osazení, ale šroubů průchozích přes opěrnou vložku, k upínací desce. K jeho vyjmutí postačí uvolnit dva šrouby, čímž odpadá nutnost demontáže celé pohyblivé části nástroje. Ohybník není vybaven vyhazovačem. Je provedena pouze příprava pro jeho montáž, jelikož se provádí neuzavřený ohyb, a tak je předpoklad, že pás nebude v ohybníku ulpívat.

Sestava nástroje a vybrané součásti jsou uvedeny ve výkresové příloze.



Obr. 41 Postupový sdružený nástroj

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [21]

Porovnávání hodnoty celkových nákladů s výnosy v závislosti na požadovaném objemu součásti vychází z technického řešení výroby. Určením bodu zvratu se ukáže, od jakého počtu výlisků bude výroba zisková.

a) Vstupní údaje

Ceny materiálu a odpadu jsou aktuální k datu sepsání této práce. K dodání svitku se zavázala firma Jiří Oždian a výkupní cena odpadu plechu je zjištěna ze sazebníku výkupu druhotných surovin společnosti Barko s.r.o. Vstupní hodnoty důležité pro technicko ekonomické zhodnocení jsou uvedeny v tab. 5.1.

Tab. 5.1 vstupní hodnoty

Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Roční výrobní dávka součásti	Q	360000	[ks]
Cena za svitky na celou dávku	C_m	355000	[Kč]
Sazba výkupu odpadu	P_o	3	[Kč]
Využití materiálu	μ	69,9	[%]
Měrná hmotnost oceli 11 373.3	ρ	7850	[kg.m ⁻³]

b) Náklady na materiál

Celková hmotnost svitků

Hmotnost a potřebný počet svitků byly určeny v kap. 4.3. Pro zjištění celkové hmotnosti se hodnoty vynásobí.

$$m_{csv} = m_{sv} \cdot n_{sv} = 434 \cdot 22 = 9548 \text{ kg} \quad (5.1)$$

m_{csv} – celková hmotnost svitků [kg]

Hmotnost odpadu materiálu

$$m_o = \frac{(100 - \mu)}{100} \cdot m_{csv} = \frac{(100 - 69,9)}{100} \cdot 9548 = 2874 \text{ kg} \quad (5.2)$$

m_o – hmotnost odpadu materiálu [kg]

Cena odpadu

$$P_{oc} = m_o \cdot P_o = 2874 \cdot 3 = 8622 \text{ Kč} \quad (5.3)$$

P_{oc} – celková výkupní cena odpadu [Kč]

Výsledná cena materiálu

$$P_v = C_m - P_{oc} = 355000 - 8622 = 346378 \text{ Kč} \quad (5.4)$$

P_v – výsledná cena materiálu [Kč]

Materiálové náklady na jeden kus výlisku

$$N_a = \frac{P_v}{Q} = \frac{346378}{360000} = 0,96 \text{ Kč} \quad (5.5)$$

N_a – materiálové náklady na jeden kus [Kč]

c) Náklady na nástroj

Cena nástroje se skládá z nákladů na zpracování, nákladů na materiál a zisku výrobce. Cena zpracování obsahuje režijní náklady a mzdy jednicových pracovníků.

Náklady na zpracování

Náklady na zpracování jsou určeny podle nástrojů podobné velikosti a složitosti vyrobených v nástrojárně společnosti ANTREG a.s., která sídlí ve Vyškově.

$$N_z = 170000 \text{ Kč} \quad (5.6)$$

N_z – náklady na zpracování nástroje [Kč]

Náklady na materiál nástroje

Velikosti polotovarů a jakosti použitých ocelí jsou uvedeny v kusovníku na výkresu sestavy nástroje uvedeného v příloze. Do výše ceny materiálu není možné zahrnout pouze cenu za hmotnost jednotlivých ocelí, ale i náklady na dělení oceli. Ty jsou individuální dle ceníku dodavatele a její výše může přesahovat samotnou cenu oceli. Ceny za minutu řezání se pohybují v rozmezí 6 až 8 Kč (ceníky JKZ Bučovice s.r.o., Böhler Uddeholm CZ s.r.o.). Materiál na nástroj byl poptán u dodavatele konstrukčních a nástrojových ocelí JKZ Bučovice s.r.o. Tím je zamezeno možným nepřesnostem při stanovení ceny materiálu na nástroj. Dodavatel cenu garantuje dva měsíce od vystavení nabídky.

$$N_n = 6250 \text{ Kč}$$

N_n – náklady na materiál nástroje [Kč]

Cena nástroje N_b bez zisku výrobce

$$N_b = N_z + N_n = 170000 + 6250 = 176250 \text{ Kč} \quad (5.9)$$

N_b – cena nástroje bez zisku výrobce [Kč]

Celková cena nástroje Z_p se ziskem výrobce

Zisk podniku Z_p se pohybuje v rozmezí 15 až 30% z celkových nákladů na nástroj.

$$Z_p = N_b \cdot 25\% = 176250 \cdot 1,25 = 220312,5 \cong 221000 \text{ Kč} \quad (5.11)$$

Z_p – celková cena za nástroj (uvádí se bez DPH) [Kč]

d) Náklady na mzdy a režii

Přímé náklady na mzdy

Hodinová mzda pracovníka lisu J_m je 125. Čas výroby n_h zohledňuje dobu pro zahájení a ukončení směny v délce 1 hodiny. Na každou výměnu a seřízení svitku je vyčleněna rovněž jedna hodina. Počet zdvihů beranu n_z stroje LEN 40 C při trvalém chodu udává tab. 4.3.

Počet součástí vyrobených za hodinu

$$n_{sh} = n_z \cdot 60 = 70 \cdot 60 = 4200 \text{ ks} \quad (5.12)$$

n_{sh} – počet součástí vyrobených za hodinu [ks]

n_z – počet zdvihů beranu lisu [min^{-1}]

Počet hodin výroby součásti na lisu

$$n_h = \frac{Q \cdot 7,5}{(7,5 - 1 - 1) \cdot 4200} = \frac{360000 \cdot 7,5}{5,5 \cdot 4200} = 117 \text{ hod.} \quad (5.13)$$

n_h – počet hodin výroby součásti na lisu [ks]

n_z – počet zdvihů beranu lisu [min^{-1}]

Výpočet přímé mzdy pracovníka lisu

$$M_p = n_h \cdot J_m \cdot 1,34 = 117 \cdot 125 \cdot 1,34 = 19597,5 \text{ Kč} \quad (5.14)$$

M_p – mzda pracovníka obsluhy lisu [Kč]

n_h – počet hodin výroby součásti na lisu [hod.]

J_m – hodinová mzda pracovníka lisu [Kč/hod.]

$SZ = 34\%$ – navýšení na superhrubou mzdu [%]

Celkové náklady na mzdy včetně režie

$$M_c = M_p \cdot (S_r + V_r) = 19597,5 \cdot 4,5 = 88189 \text{ Kč} \quad (5.15)$$

M_c – celkové náklady na mzdy [Kč]

S_r – správní režie jsou 110% z M_p [%]

V_r – výrobní režie jsou 340% z M_p [%]

e) Náklady na elektrickou energii

Náklady na elektrickou energii

Ke spotřebě lisu se musí přičíst také energie spotřebovaná přidavným zařízením jako podavač atd.

$$N_e = (P_{st} + P_{pz}) \cdot n_h \cdot C_e = (3,5 + 3,8) \cdot 117 \cdot 4 = 3417 \text{ Kč} \quad (5.16)$$

N_e – náklady na elektrickou energii [Kč]

P_{st} – příkon lisovacího stroje [kW]

P_{pz} – příkon přidavných zařízení [kW]

n_h – čas výroby [hod.]

$C_e = 4 \text{ Kč za kWh}$ – cena elektrické energie [Kč/kWh]

f) Celkové náklady na součást

Náklady bez zisku

$$N_{sc} = \frac{P_v + M_c + Z_p + N_e}{n_r} \quad (5.17)$$

$$N_{sc} = \frac{346378 + 88189 + 221000 + 3417}{360000} = 1,83 \text{ Kč}$$

N_{sc} – celkové náklady na součást [Kč]

Náklady se ziskem

Zisk výrobců není stejný a pohybuje se v závislosti na vyráběném množství součásti s přihlédnutím k jiným vlivům, jako je aktuální stav kapacit a podobně. Součást bude v tomto případě vyráběna se ziskem 30%.

$$N_{sr} = N_{sc} \cdot 1,3 = 2,9 \cdot 0,3 = 2,4 \text{ Kč} \quad (5.18)$$

N_{sr} – celkové náklady na součást se ziskem výrobce [Kč]

g) Bod zvratu

Fixní náklady

$$N_f = M_c + N_n - M_p \quad (5.19)$$

$$N_f = 88189 + 221000 - 19597,5 = 289591,5 \text{ Kč}$$

N_f – fixní náklady [Kč]

Variabilní náklady

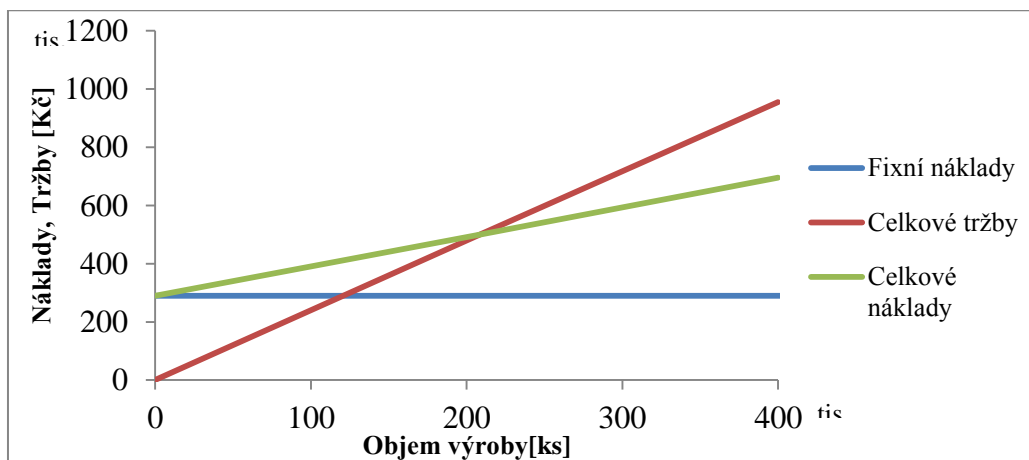
$$N_v = N_a + \frac{M_p}{Q} = 0,96 + \frac{19597,5}{360000} = 1,01 \text{ Kč} \quad (5.20)$$

N_v – variabilní náklady [Kč]

Bod zvratu

$$g_z = \frac{N_f}{N_{sr} - N_v} = \frac{289591,5}{2,4 - 1,01} = 208340 \text{ ks} \quad (5.21)$$

g_z – bod zvratu [ks]



Obr. 42 Grafické stanovení bodu zvratu

Z určeného bodu zvratu vyplývá, že výrobce začne vykazovat zisk po zhotovení 208340 kusů výlisků. Vzhledem k tomu, že roční dávka představuje 360000 kusů, bude výroba výhodná. Grafické stanovení bodu zvratu uvádí obr. 42.

Zisk z roční dávky je vypočítán pomocí vzorce 5.22, zjednodušeného o daňové odvody.

$$Z_v = (Q - g_z) \cdot (N_{sr} - N_{sc}) \quad (5.22)$$

$$Z_v = (360000 - 208340) \cdot (2,4 - 1,83) = 86446,2 \text{ Kč}$$

Z_v – celkový zisk výrobce [Kč]

6 ZÁVĚR

V práci je uvedeno vhodné řešení výroby objímky z plechu třídy 11 373.1 tlustého 1,5 mm. Předpokládá se odběr 360000 kusů objímek za rok. Zhodnocením tvaru součásti a porovnáním možných technologických variant výroby se ukázalo, že nejvhodnější bude výroba stříháním a ohýbáním v postupovém sdruženém nástroji pomocí lisu.

Na tyto technologie byla zaměřena literární studie, ze které vyplývá mechanismus dějů v průběhu zpracování polotovaru plechu a činitelé, které tváření ovlivňují. Možnosti a nedostatky vybraných metod tváření se označují technologičností a na základě teoretického poznání je možné předejít komplikacím, které v praxi vznikají. V části zabývající se konstrukčními prvky pracovních částí nástrojů jsou uvedeny možné způsoby jejich provedení společně s návazností na vlastnosti použití materiálů pro lisovací nástroje.

Při návrhu výroby součásti byly porovnány varianty umístění výlisku v nástřihovém plánu, přičemž nejvýhodnější se ukázala příčná poloha vzhledem k pohybu pásu plechu, která dává širší možnosti pro konstrukci nástroje. Výroba součásti proběhne během devíti kroků v postupovém sdruženém nástroji, a to včetně ražení písma a protažení otvoru pro závit. Krok pásu je dán bočním ostřížením se současným zhotovením části tvaru ve dvou polohách, což snížilo množství odpadu z nedostříhaného konce a zmenšilo šířku pásu plechu. Využitelnost možných polotovarů je:

- pro podélně stříhané pásy z tabule plechu 68,6 %,
- pro příčně stříhané pásy z tabule plechu 66,6 %,
- a ze svitku 69,9 %.

Na základě těchto výsledků byl pro výrobu součásti zvolen svitek.

Funkční části nástroje byly ověřeny technologickými a kontrolními výpočty, ze kterých bylo vycházeno při návrhu lisovacího nástroje. Na základě výsledků byl určen vhodný lisovací stroj LEN 40 C.

Ke zjištění výhodnosti výroby bylo provedeno ekonomické zhodnocení. Cena součásti vyrobené ze svitku bude 2,40 Kč včetně 30 % zisku. Z výsledku výpočtu bodu zvratu vyplývá, že výrobce začne vykazovat zisk po zhotovení 208340 kusů součástí.

Seznam zdrojů

1. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1983. 216 s. L13-B2-VI-31/22703.
2. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press Inc., 2004. 208 s. ISBN 0-8311-3182-9.
3. BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971. 544 s.
4. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřely: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: ÚMN, 1977. 28 s.
5. ČSN 22 6385. *Protahování otvorů do plechu: Otvory pro metrický závit*. Praha: Český normalizační institut, 1968. 5 s.
6. ČSN 22 7340. *Tvářecí nástroje: Ohýbadla*. Praha: Vydavatelství norem, 1991. 16 s.
7. ČSN ISO 2768-1. *Nepředepsané mezní úchytky délkových a úhlových rozměrů*. Praha: Český normalizační institut, 1992. 8 s.
8. DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Konstrukce nástrojů prolisy*. 4. vydání. Praha: Josef Hokr, 1946. 815 s.
9. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
10. FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. *Autodesk Inventor: Funkční navrhování v průmyslové praxi*. 2. doplněné vydání. Brno: Computer Press, a.s., 2007. 318 s. ISBN 978-80-251-1773-6.
11. FÜRBAACHER, Ivan; Karel MACEK a Josef STEIDL. *Lexikon technických materiálů: se zahraničními ekvivalenty*. včetně 9. aktualizace. Praha: Verlag Dashöfer, 2000. iv, 1064 s. ISBN 80-86229-02-5.
12. HÝSEK, Rudolf. *Tářecí stroje*. 3. doplněné vydání. Praha: SNTL, 1980. 552 s. L13-E1-III-41/22638.
13. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 4. doplněné vydání. Úvaly: Albra, 2008. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
14. LENFELD, Petr. *Technologie plošného tváření - ohýbání* [online]. 2005 [cit. 2011-03-29]. Technologie II. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm>.
15. LENFELD, Petr. *Technologie plošného tváření - stříhání* [online]. 2005 [cit. 2011-03-30]. Technologie II. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm>.
16. MACHEK, Václav, et al. *Zpracování tenkých plechů*. Praha: SNTL, 1982. 272 s. L13-B3-VI-41/22539.
17. NOVOTNÝ, Karel. *Nástroje a přípravky: část I.-tváření*. Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1982. 180 s.
18. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL, 1980. 216 s. L13-B3-VI-41/22674.

19. ROMANOVSKIJ, V.P. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959. 537 s.
20. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Základy konstruování: Výběr z norem pro konstrukční cvičení*. 2.vyd. Brno: CERM, 2007. 223 s. ISBN 978-80-7204-534-1.
21. SYNEK, Miloslav, et al. *Podniková ekonomika*. 4. vydání. Praha: C.H.Beck, 2006. 475 s. ISBN 80-7179-892-4.
22. TOMA INDUSTRIES s.r.o. [online]. 2006 [cit. 2011-05-08]. Výstředníkové lisy LEN 10,25,40,63 C. Dostupné z WWW: <http://www.toma.sk/vyrprog_produkty_vyslisy_len.htm> .
23. ZAPP MATERIALS ENGINEERING [online]. 2011 [cit. 2011-04-11]. Sonderwerkstoffe . Dostupné z WWW: <<http://www.zapp.com/index.php?id=83&L=1>>.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A	[J]	práce
a	[mm]	velikost můstku (přepážky) k okraji pásu
A_{80}	[%]	tažnost
a_k	[mm]	nejmenší vzdálenost konstrukčního prvku od oblasti ohybu
A_{ou}	[J]	ohýbací práce ohybu U
A_{ov}	[J]	ohýbací práce ohybu V
b	[mm]	velikost můstku (přepážky) mezi výstřižky
B	[mm]	šířka pásu plechu
b_r	[mm]	nejmenší délka ramene
b_s	[mm]	šířka ohýbané součásti
B_t	[mm]	šířka tabule plechu
c	[-]	koeficient druhu stříhání
C_e	[Kč/kWh]	cena elektrické energie
c_m	[-]	součinitel technologických vlastností materiálu a směru vláken materiálu
C_m	[Kč]	cena materiálu
D_{sv}	[mm]	vnější rozměr svitku
d_{sv}	[mm]	vnitřní rozměr svitku
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
f	[-]	součinitel tření
F_c	[N]	celková tvářecí síla
F_n	[N]	samostatná síla
F_o	[N]	celková ohýbací síla
F_{oc}	[N]	celková síla ohýbaní
F_{ok}	[N]	ohýbací síla pro ohyb s kalibrací
F_{ou}	[kN]	ohýbací síla ohybu U
F_{ov}	[kN]	ohýbací síla ohybu V
F_p	[N]	síla přidržovače
F_{po}	[N]	síla na protažení otvoru
F_r	[N]	síla na ražení písma
F_s	[N]	střížná síla
F_{sc}	[N]	celková síla stříhání
F_{sc}	[N]	celková střížná síla
F_u	[N]	stírající síla
F_v	[mm]	síla pro vytlačení výstřižku
g_z	[ks]	bod zvratu
h	[mm]	minimální výška střížnice
h_p	[mm]	pracovní zdvih ohybu V
h_s	[mm]	šířka výstřižku
h_u	[mm]	pracovní zdvih ohybu U
J	[mm ⁴]	moment setrvačnosti průřezu
J_m	[Kč/hod.]	hodinová mzda pracovníka lisu
k	[mm]	délka kroku

K_1	[-]	koeficient druhu a tloušťky materiálu
k_{eu}	[-]	koeficient druhu stříhání a materiálu
k_{ev}	[-]	koeficient druhu stříhání a materiálu
k_x	[-]	součinitel polohy neutrální osy při odpružení
l	[mm]	délka výstřížku v podélném směru pásu
L	[mm]	délka pásu plechu
l_c	[mm]	celková délka rozvinutého tvaru
l_k	[mm]	délka křivky stříhu
l_{krit}	[mm]	kritická délka střížníku
l_m	[mm]	délka ramene ohybu
l_n	[mm]	délky rovných úseků
l_o	[mm]	délka oblouku neutrální osy
l_{oh}	[mm]	vzdálenost ohýbacích hran
l_{on}	[mm]	délky oblouků neutrálních os
M_c	[Kč]	celkové náklady na mzdy
m_{csv}	[kg]	celková hmotnost svitků
m_o	[kg]	hmotnost odpadu materiálu
M_p	[Kč]	mzda pracovníka obsluhy lisu
m_{sv}	[kg]	hmotnost svitku
m_u	[-]	opravný koeficient
m_v	[-]	opravný koeficient
n	[mm]	koeficient vnějších vlivů při stříhání
N_a	[Kč]	materiálové náklady na jeden kus
n_b	[-]	koeficient bezpečnosti
N_b	[Kč]	cena nástroje bez zisku výrobce
n_b	[ks]	počet výstřížků ze svitku
n_c	[ks]	počet výstřížků z tabule plechu
N_e	[Kč]	náklady na elektrickou energii
N_f	[Kč]	fixní náklady
n_h	[hod.]	čas výroby
n_h	[Kč]	počet hodin výroby součásti na lisu
N_n	[Kč]	náklady na materiál nástroje
n_p	[ks]	počet výstřížků v neodlehčené části střížnice
N_{sc}	[Kč]	celkové náklady na součást
N_{sr}	[Kč]	celkové náklady na součást se ziskem výrobce
n_{sv}	[ks]	celkový počet svitků
n_v	[ks]	počet výstřížků z pásu plechu
N_v	[Kč]	variabilní náklady
n_z	[min ⁻¹]	počet zdvihů beranu lisu
N_z	[Kč]	náklady na zpracování nástroje
P_o	[Kč]	sazba výkupu odpadu
P_{oc}	[Kč]	celková výkupní cena odpadu
P_{pz}	[kW]	příkon přídavných zařízení
P_{st}	[kW]	příkon lisovacího stroje
p_t	[ks]	počet pásů z tabule plechu
P_v	[Kč]	výsledná cena materiálu
Q	[ks]	roční výrobní dávka součásti

R	[mm]	vnitřní poloměr ohybu
R_e	[MPa]	mez kluzu v tahu
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
r_m	[mm]	poloměr ohybnice
R_{max}	[mm]	maximální poloměr ohybu
R_{min}	[mm]	minimální poloměr ohybu
r_p	[mm]	poloměr ohybníku
s	[mm]	tloušťka plechu
S	[mm ²]	styčná plocha střížníku
S_b	[mm ²]	plocha svitku
S_p	[mm ²]	plocha pásu plechu
S_r	[%]	správné režie jsou
S_t	[mm ²]	plocha tabule plechu
S_v	[mm ²]	plocha výstřižku
SZ	[%]	navýšení na superhrubou mzdu
T_x	[mm]	poloha těžiště v ose x
T_y	[mm]	poloha těžiště v ose y
v	[mm]	střížná vůle
v_n	[mm]	vůle mezi ohybníkem a ohybnicí
V_r	[%]	výrobní režie jsou
x	[-]	součinitel polohy neutrální osy
x_n	[mm]	velikost souřadnice x
y_n	[mm]	velikost souřadnice y
z	[mm]	střížná mezera
Z_p	[Kč]	celková cena za nástroj
Z_v	[Kč]	celkový zisk výrobce
α	[°]	úhel ohybu
α_1	[°]	velikost úhlu při zatížení
α_2	[°]	velikost úhlu po odlehčení
β	[°]	velikost odpružení
ε_{tmax}	[mm]	trvalá poměrná deformace
μ	[%]	využití materiálu tabule plechu
μ_p	[%]	využití materiálu svitku plechu
π	[mm]	Ludolfovo číslo
ρ	[kg.m ⁻³]	hmotnost oceli
σ	[MPa]	napětí
σ_{dov}	[MPa]	dovolené napětí na styčné ploše střížníku
σ_{odov}	[MPa]	dovolené namáhání v ohybu
τ_s	[MPa]	střížný odpor

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Tab. 1a Přesnost vnějších rozměrů výstřižku Tab. 1b Přesnost vnějších rozměrů výstřižku Tab. 1c Vzdálenost otvoru od kraje výstřižku Tab. 1d Přesnost děrovaných kruhových otvorů
Příloha 2	Tab. 1. Hodnoty koeficientu k_{eu} a k_{ev} Tab. 2. Hodnoty koeficientu K_1 Obr. 1. Určení kritické délky střižníku pomocí diagramu
Příloha 3	Obr. 1 Diagram odpružení

SEZNAM VÝKRESŮ

DN25-G-I/A4	Výkres objímky
LPSD 10 A1	Výkres sestavy sdruženého nástroje
LPSD 10/06	Výkres střižnice
LPSD 10/15	Výkres střižníku

Příloha 1

Tab. 1a Přesnost vnějších rozměrů výstřižku [1]

Tloušťka děrovaného plechu [mm]	Vnější rozměr výstřižku [mm]			
	do 50	50 až 120	120 až 260	260 až 500
0,2 až 0,5	0,10 až 0,03	0,15 až 0,05	0,20 až 0,08	0,30 až 0,10
0,5 až 1	0,15 až 0,04	0,20 až 0,06	0,30 až 0,10	0,40 až 0,15
1 až 2	0,2 až 0,06	0,30 až 0,10	0,40 až 0,12	0,50 až 0,15
2 až 3	0,30 až 0,10	0,40 až 0,12	0,50 až 0,15	0,60 až 0,20
3 až 4	0,40 až 0,20	0,50 až 0,25	0,60 až 0,30	0,80 až 0,35
4 až 6	0,5 až 0,30	0,60 až 0,40	0,80 až 0,50	1,00 až 0,70
6 až 10	0,70 až 0,50	0,80 až 0,50	1,00 až 0,70	1,20 až 0,80

Tab. 1b Přesnost vnějších rozměrů výstřižku [1]

Tloušťka děrovaného plechu [mm]	Rozteče otvorů [mm]		
	do 50	50 až 150	150 až 300
do 1	0,10 až 0,03	0,15 až 0,05	0,20 až 0,08
1 až 2	0,12 až 0,04	0,20 až 0,06	0,30 až 0,10
2 až 4	0,15 až 0,06	0,25 až 0,08	0,35 až 0,12
4 až 6	0,20 až 0,08	0,30 až 0,10	0,40 až 0,15

Tab. 1c Vzdálenost otvoru od kraje výstřižku [1]

Tloušťka děrovaného plechu [mm]	Rozteče otvorů [mm]		
	do 50	50 až 150	150 až 300
do 1	0,50 až 0,25	0,60 až 0,30	0,70 až 0,35
1 až 2	0,50 až 0,25	0,60 až 0,30	0,70 až 0,35
2 až 4	0,60 až 0,30	0,70 až 0,35	0,80 až 0,40
4 až 6	0,70 až 0,35	0,80 až 0,40	1,00 až 0,60

Tab. 1d Přesnost děrovaných kruhových otvorů [1]

Tloušťka děrovaného plechu [mm]	Rozteče otvorů [mm]		
	do 50	50 až 150	150 až 300
0,2 až 1	0,06 až 0,02	0,08 až 0,04	0,10 až 0,08
1 až 4	0,08 až 0,03	0,10 až 0,06	0,12 až 0,10
4 až 10	0,10 až 0,06	0,12 až 0,10	0,15 až 0,14

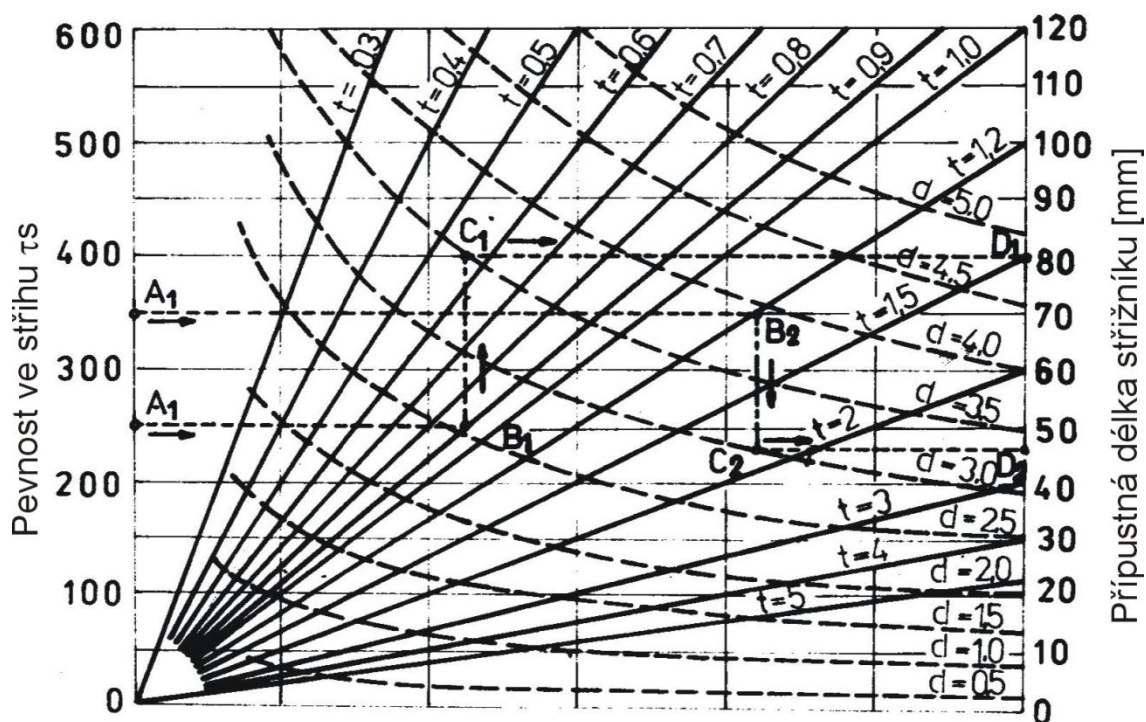
Příloha 2

Tab. 1. Hodnoty koeficientu k_{eu} a k_{ev} [3]

Materiál	Koeficient [- -]	
	k_{eu}	k_{ev}
Ocel	0,1 až 0,13	0,05
Mosaz	0,06 až 0,07	0,04
Slitiny hliníku	0,09	0,02 až 0,04

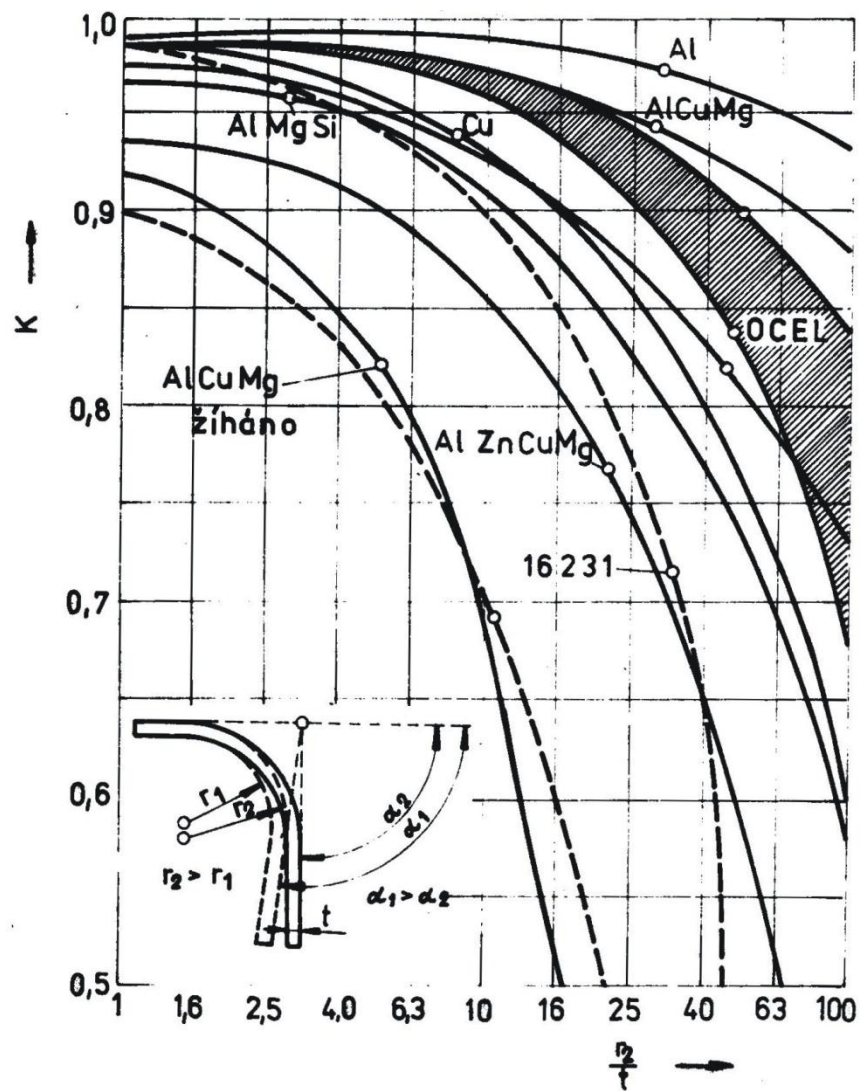
Tab. 2. Hodnoty koeficientu K_1 [3]

Materiál	Tloušťka materiálu [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 3	nad 4
Ocel měkká	0,70 - 0,65	0,65 - 0,60	0,60 - 0,50	0,45 - 0,35
Ocel středně tvrdá	0,60 - 0,55	0,55 - 0,50	0,50 - 0,42	0,40 - 0,40
Ocel tvrdá	0,45 - 0,42	0,42 - 0,38	0,38 - 0,33	0,30 - 0,20
hliník	0,75 - 0,70	0,70 - 0,65	0,65 - 0,55	0,50 - 0,50



Obr. 1. Určení kritické délky střížníku pomocí diagramu [17]

Příloha 3



Obr. 1. Diagram odpružení [17]